

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Gabrijela Mikulić**

Zagreb, godina 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentori:

Prof. dr. sc. Igor Balen

Student:

Gabrijela Mikulić

Zagreb, godina 2018.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svom mentoru prof.dr.sc. Igoru Balenu na pomoći i podršci prilikom izrade ovog rada. Također, zahvaljujem se svom ocu, Tomislavu Mikuliću na stručnim savjetima prilikom izrade diplomskog rada, kao i cijeloj obitelji na bezuvjetnoj podršci tijekom studiranja.

Gabrijela Mikulić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodogradnja i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur. broj:	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Gabrijela Mikulić** Mat. br.: 0035185146

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Projekt sustava grijanja i hlađenja stambene zgrade**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design of heating and cooling system for residential building**

Opis zadatka:

U ovom radu, potrebno je projektirati sustav grijanja i hlađenja stambene zgrade s tri stana, ukupne korisne površine 300 m<sup>2</sup>, prema zadanoj arhitektonskoj podlozi. Zgrada ima tri etaže (Pr+1K+2K). Za izvor topline koristiti dizalicu topline tlo-voda s vertikalnim bušotinskim izmjenjivačima topline. Sustav grijanja predvidjeti s temperaturnim režimom 38/32 °C, a sustav hlađenja predvidjeti s temperaturnim režimom 14/18 °C. Predvidjeti sustav prisilne ventilacije zgrade s povratom toplinske energije iz istrošenog zraka. Pripremu potrošne tople vode (PTV) predvidjeti u izvedbi akumulacijskog sustava sa solarnim kolektorima. Za raspodjelu troškova po vlasničkim cjelinama, predvidjeti potrebna mjerenja tokova energije i medija. Za smještaj opreme predvidjeti strojarnicu na krovu. Zgrada se nalazi na području grada Zagreba.

Na raspolaganju su energetske izvori:

- elektro-priključak 230/400V; 50Hz,
- vodovodni priključak tlaka 5 bar.

Rad treba sadržavati:

- toplinsku bilancu zgrade za zimu i za ljeto,
- toplinsku i količinsku bilancu razvoda vode sustava grijanja, hlađenja i pripreme PTV,
- toplinsku i količinsku bilancu sustava ventilacije,
- hidraulički proračun cijevne mreže ogrjevnog i rashladnog medija,
- tehničke proračune koji definiraju izbor opreme,
- tehnički opis funkcije odabranog sustava,
- funkcionalnu shemu spajanja i shemu regulacije,
- crteže kojima se definira raspored i montaža opreme.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:  
16. studenog 2017.

Datum predaje rada:  
18. siječnja 2018.

Predviđeni datum obrane:  
24., 25. i 26. siječnja 2018.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Igor Balen

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

**SADRŽAJ**

POPIS SLIKA .....	II
POPIS TABLICA.....	III
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE.....	IV
POPIS OZNAKA .....	V
SAŽETAK .....	VIII
SUMMARY.....	IX
1. UVOD .....	1
2. OPIS ZGRADE.....	14
3. SUSTAV GRIJANJA.....	18
4. SUSTAV HLAĐENJA .....	27
5. ODABIR KOMPONENTI SUSTAVA GRIJANJA .....	33
6. PRORAČUN CJEVOVODA I ODABIR PUMPI SUSTAVA GRIJANJA I HLAĐENJA .....	38
7. DIMENZIONIRANJE I ODABIR EKSPANZIJSKIH POSUDA SUSTVA GRIJANJA I HLAĐENJA.....	43
8. DIMENZIONIRANJE I ODABIR KOMPONENTI SOLARNOG SUSTAVA.....	45
9. DIMENZIONIRANJE I ODABIR KOMPONENTI SUSTAVA MEHANIČKE VENTILACIJE.....	53
10. TEHIČKI OPIS .....	57
11. ZAKLJUČAK .....	61

## POPIS SLIKA

Slika 1.	Odnos PMV i PPD indeksa .....	2
Slika 2.	Termodinamički princip rada dizalice topline [2] .....	3
Slika 3.	Shema rada kompresijske dizalice topline [2] .....	4
Slika 4.	Shema rada kompresijske dizalice topline [3] .....	7
Slika 5.	Prikaz ploha za površinsko grijanje [1] .....	8
Slika 6.	Razdjelnik za cijevi podnog grijanja [4] .....	9
Slika 7.	Cijevi podnog grijanja postavljene u pužnu (lijevo) i serpentinsku petlju (desno) [4] .....	9
Slika 8.	Solari sustav za pripremu PTV-a s bivalentnim spremnikom [8] .....	10
Slika 9.	Pločasti (lijevo) i cijevni vakuumski (desno) solarni kolektor [8] [9] .....	11
Slika 10.	Primjer serijskog (lijevo) i paralelnog spoja solarnih kolektora [10] .....	12
Slika 11.	Sustav centralne mehaničke ventilacije [12] .....	13
Slika 12.	Smještaj zgrade u prostoru .....	14
Slika 13.	Tlocrt prizemlja zgrade .....	15
Slika 14.	Tlocrt prvog kata zgrade .....	15
Slika 15.	Tlocrt drugog kata zgrade .....	16
Slika 16.	Pročelja zgrade .....	16
Slika 17.	Krugovi izmjene topline u dizalici topline [15] .....	34
Slika 18.	Dizalica topline [16] .....	35
Slika 19.	Sabirnik/razdjelnik rasoline dizalice topline [16] .....	36
Slika 20.	Međuspremnik ogrjevnice vode allSTOR exclusiv [17] .....	37
Slika 21.	Dijagram pumpe Grundfos Magna3-25-60 [18] .....	42
Slika 22.	Pumpa Grundfos Magna3-25-60 [18] .....	42
Slika 23.	Ekspanzijska membranska posuda .....	43
Slika 24.	Vaillant cijevni vakuumski kolektor na montažnom priboru za ravni krov .....	47
Slika 25.	Odnos potrebne i isporučene energije za PTV po mjesecima .....	48
Slika 26.	Akumulacijski spremnik PTV-a .....	49
Slika 27.	Pad tlaka u kolektorima .....	50
Slika 28.	Pad tlaka u bakrenim cijevima .....	50
Slika 29.	Ekspanzijske posude proizvođača Elbi [19] .....	52
Slika 30.	Ventilacijska jedinica VAM-800 FC [13] .....	53
Slika 31.	Istrujna rešetka "OAV-2" proizvođača Klimaoprema [24] .....	55
Slika 32.	Zračni ventil "ZOV 100" proizvođača Klimaoprema [24] .....	55

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Najčešće mogućnosti primjene dizalica topline .....	5
Tablica 2. Koeficijenti prolaza topline toplinske ovojnice zgrade .....	17
Tablica 3. Ulazni podaci za proračun ogrjevnog opterećenja .....	17
Tablica 4. Proračun projektnih gubitaka topline za prostoriju Dnevni boravak .....	21
Tablica 5. Rezultati proračuna projektnih gubitaka po prostorijama .....	22
Tablica 6. Rezultati proračuna dimenzioniranja ogrjevnih tijela .....	24
Tablica 7. Rezultati proračuna projektnih dobitaka po prostorijama .....	28
Tablica 8. Rashladna opterećenja prostorija u najnepovoljnijim danima .....	29
Tablica 9. Rezultati proračuna dimenzioniranja rashladnih tijela .....	30
Tablica 10. Tehničke specifikacije dizalice topline [15] .....	35
Tablica 11. Tehničke specifikacije međuspremnik ogrjevnog vode [17] .....	37
Tablica 12. Proračun pada tlaka kruga rasoline .....	39
Tablica 13. Proračun pada tlaka isparivačkog kruga .....	39
Tablica 14. Proračun pada tlaka od dizalice topline do međuspremnik ogrjevnog vode .....	40
Tablica 15. Proračun pada tlaka od dizalice topline do spremnika PTV-a .....	40
Tablica 16. Padovi tlaka u petljama podnog grijanja .....	41
Tablica 17. Padovi tlaka u vertikalnim dionicama podnog grijanja .....	41
Tablica 18. Pad tlaka u dionici pasivnog hlađenja .....	41
Tablica 19. Dnevna potrošnja vode po osobi obzirom na namjenu objekta .....	45
Tablica 19. Dnevna potrošnja vode po osobi obzirom na namjenu objekta .....	47
Tablica 21. Rezultati proračuna solarnog sustava .....	47
Tablica 22. Rezultati proračuna solarnog sustava .....	51
Tablica 23. Raspodjela dobavnog i odsisnog zraka .....	53
Tablica 24. Pad tlaka u dobavnom kanalu .....	54
Tablica 25. Pad tlaka u dobavnom kanalu .....	54
Tablica 26. Pad tlaka u kanalu svježeg vanjskog zraka .....	54
Tablica 26. Pad tlaka u kanalu svježeg vanjskog zraka .....	54

## **POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

- |        |  |
|--------|--|
| 1-2018 | Tlocrt prizemlja – podno grijanja/hlađenje |
| 2-2018 | Tlocrt 1. kata – podno grijanja/hlađenje   |
| 3-2018 | Tlocrt 2. kata – podno grijanja/hlađenje   |
| 4-2018 | Tlocrt prizemlja – ventilacija             |
| 5-2018 | Tlocrt 1. kata – ventilacija               |
| 6-2018 | Tlocrt 2. kata – ventilacija               |
| 7-2018 | Funkcionalna shema spajanja i regulacije   |
| 8-2018 | Shema usponskih vodova                     |
| 9-2018 | Tlocrt krovnih ploha – smjestaj opreme     |



## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
<i>Latinične oznake</i>		
$A_i$	$m^2$	površina grijane prostorije
$A_k$	$m^2$	površina plohe kroz koju prolazi toplina
$A_{pod}$	$m^2$	površina petlje podnog grijanja/hlađenja
$b_u$	—	faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir temperaturu negrijanog prostora i vanjsku projektanu temperaturu
$c_w$	$kJ/(kg\ K)$	specifični toplinski kapacitet vode
$COP$	—	faktora grijanja
$EER$	—	faktora hlađenja
$f_{g1}$	—	korekcijski faktor za utjecaj godišnje oscilacije vanjske temperature
$f_{g2}$	—	faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između godišnje srednje vanjske temperature i projektne vanjske temperature
$f_{ij}$	—	faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između temperature susjednog prostora i projektne vanjske temperature
$f_{RH}$	$W/m^2$	korekcijski faktor ovisan o vremenu zagrijavanja i pretpostavljenom padu temperature za vrijeme prekida grijanja
$G_W$	—	korekcijski faktor za utjecaj podzemne vode
$H_{T,ie}$	$W/K$	koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu
$H_{T,ig}$	$W/K$	koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora tlu
$H_{T,ij}$	$W/K$	koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema susjednom grijanom prostoru različite temperature
$H_{T,iue}$	$W/K$	koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prema vanjskom okolišu
$H_{T,iue}$	$W/K$	koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prema vanjskom okolišu
$H_{V,i}$	$W/K$	koeficijent ventilacijskih toplinskih gubitaka
$L_p$	$m$	ukupna duljina cijevi u petlji podnog grijanja/hlađenja
$L_s$	$m$	duljina spojnih cijevi
$l_j$	$m$	duljina linijskog toplinskog mosta između vanjskog okoliša i prostorije
$N$	—	pretpostavljeni broj osoba u prostoriji
$n$	—	postotak širenja vode prilikom zagrijavanja
$n_{min}$	$h^{-1}$	minimalni higijenski broj izmjena zraka
$P$	$W$	električna snaga za pogon kompresora

$p_0$	bar	primarni tlak ekspanzijske posude
$p_s$	bar	projektirani krajnji tlak povezan s točkom otvaranja sigurnosnog ventila
$Q_W$	kWh/dan	dnevna potrebna toplinska energija za zagrijavanje PTV-a
$T$	m	razmak između cijevi
$t_{hw}$	kJ/(kg K)	temperatura hladne vode
$t_s$	kJ/(kg K)	temperatura tople vode u spremniku
$t_{tw}$	kJ/(kg K)	temperatura tople vode
$U_{equiv,k}$	W/(m <sup>2</sup> K)	ekvivalentni koeficijent prolaza topline pod "k" iz tablica i dijagrama ovisno tipologiji pod [W/(m <sup>2</sup> K)]
$U_k$	W/(m <sup>2</sup> K)	koeficijent prolaza topline građevnog elementa
$V_s$	l	volumen širenja vode izazvan povišenjem temperature
$V_i$	m <sup>3</sup> /h	volumni protok zraka
$V_{n,min}$	l	minimalni volumen zatvorene membranske ekspanzijske posude
$V_{p,i}$	m <sup>3</sup>	volumen zraka u prostoriji
$V_{PTV}$	l/dan	pretpostavljena dnevna potrošnja tople vode temperature
$V_V$	l	dodatni volumen
$V_A$	l	volumen vode u sustavu
$V'_{o,p}$	m <sup>3</sup> /h	volumni protok vanjskog zraka po osobi
$\dot{V}_o$	m <sup>3</sup> /h	volumni protok vanjskog zraka

**Grčke oznake**

$\Phi_A$	W	vanjski toplinski dobici prostorije
$\Phi_B$	W	toplinski dobici od rasvjete
$\Phi_C$	W	toplinski dobici od susjednih prostorija
$\Phi_{FL}$	W	ventilacijski toplinski dobici
$\Phi_G$	W	toplinski dobici od prolaznog materijala kroz prostoriju
$\Phi_{HL,i,kor}$	W	korigirana vrijednost projektnih toplinskih gubitaka
$\Phi_{HL,i}$	W	projektirani toplinski gubici za pojedinačnu prostoriju
$\Phi_{HL}$	W	ukupni projektni toplinski gubici za cijelu zgradu
$\Phi_i$	W	projektirani toplinski gubici topline prostorije
$\Phi_I$	W	unutarnji toplinski dobici prostorije
$\Phi_{inst,gr,p}$	W	instalirani učin petlji u režimu grijanja
$\Phi_{inst,gr}$	W	ukupni instalirani ogrjevni učin podnog grijanja
$\Phi_{inst,hl,p}$	W	instalirani učin petlji u režimu hlađenja
$\Phi_{inst,hl}$	W	ukupni instalirani rashladni učin podnog hlađenja
$\Phi_{isp}$	W	toplinski tok isparavanja
$\Phi_{KG}$	W	projektirano toplinsko opterećenje zgrade
$\Phi_{kond}$	W	toplinski tok kondenzacije
$\Phi_{KR,nom,kor}$	W	korigirana vrijednost projektnog toplinskog opterećenja prostorije
$\Phi_{KR,nom}$	W	projektirano toplinsko opterećenje prostorije

$\Phi_{KR}$	W	projektno toplinsko opterećenje prostorije u pojedinom trenutku
$\Phi_P$	W	toplinski dobici od osoba
$\Phi_R$	W	toplinski dobici od ostalih izvora
$\Phi_{RH,i}$	W	dodatni potrebni kapacitet uslijed intermitentnog načina rada
$\Phi_S$	W	solarni dobici kroz n od strojeva i uređaja
$\Phi_{T,i}$	W	projektni transmisijski gubici topline prostorije
$\Phi_T$	W	toplinski dobici preko prozirnih nemasivnih ploha
$\Phi_{V,i}$	W	projektni ventilacijski gubici topline prostorije
$\Phi_W$	W	toplinski dobici preko neprozirnih masivnih ploha
$\vartheta_u$	°C	projektna temperatura negrijanog prostora
$\rho_w$	kg/m <sup>3</sup>	gustoća vode
$\psi_j$	W/(m K)	linearni koeficijent prolaza topline linearnog toplinskog mosta
$\vartheta_{ads}$	°C	temperatura susjednog prostora
$\vartheta_e$	°C	vanjska projektna temperatura
$\vartheta_{int,i}$	°C	unutarnja projektna temperatura prostora
$\vartheta_{m,e}$	°C	srednja godišnja vanjska temperatura

## SAŽETAK

Predmet ovoga rada je projektno rješenje sustava grijanja, hlađenja, ventilacije i pripreme potrošne tople vode stambene grade na području Grada Zagreba. Zgrada se sastoji od 3 etaže, a na svakoj etaži nalazi se jedan stan. Budući da zgrada nema podrum, smještaj opreme predviđen je na ravnom krovu zgrade.

Sustav grijanja izveden je kao centralni toplovodni s prisilnom cirkulacijom temperaturnog režima 38/32 °C. Kao ogrjevnja tijela koristi se podno grijanje. Isti cjevovod koristi se i kao rashladna tijela. Cjevovod podnog grijanja i hlađenja dimenzioniran je na temelju ogrjevnih, odnosno rashladnih opterećenja svake prostorije. Projektno ogrjevno opterećenje određeno je prema normi HRN EN 12831, a rashladno opterećenje prema smjernicama VDI 2078. Izvor topline za grijanje i hlađenje je dizalica topline s vertikalnim bušotinskim izmjenjivačima. Predviđen je sustav centralne mehaničke ventilacije s rekuperatorom topline.

Za pripremu tople vode predviđen je solarni sustav s akumulacijskim spremnikom. Solarni kolektori dimenzionirani su na način da mogu isporučiti ukupnu potrebnu energiju za zagrijavanje PTV-a u ljetnom periodu. Kada solarni sustav ne može isporučiti potrebnu dnevnu količinu energije, voda se zagrijava u dizalici topline s ugrađenim električnim grijačem.

U radu je priložena i tehnička dokumentacija koja se sastoji od crteža koji definiraju raspored i montažu, te funkcionalna shema spajanja i regulacije sustava.

Ključne riječi: grijanje, hlađenje, ventilacija, dizalica topline, solarni kolektori

## **SUMMARY**

This thesis provides a technical solution for heating, cooling, preparation of domestic hot water (DHW) and ventilation, for a residential building located in the city of Zagreb. The building consists of three floors, and on each floor is one apartment. Since the building doesn't have a basement, the accommodation of equipment is provided on the flat roof of the building,

The heating system was performed as a central heat source with forced circulation of the temperature regime 38/32 °C. Underfloor heating is used as a heating element. The same pipeline is also used as cooling bodies. The underfloor heating and cooling pipeline is dimensioned based on the heating or cooling loads of each room. The project heat load is determined according to HRN EN 12831 and the cooling load according to VDI 2078. The source of heat for heating and cooling is the heat pump with vertical boreholes.

A central mechanical ventilation system with a heat recuperator is also foreseen.

For hot water preparation, a solar storage system is provided. Solar collectors are dimensioned in a way that they can deliver the total amount of energy needed to heat DHW in the summer. When the solar system can't deliver the required daily amount of heat, the water is heated in a heat pump with a built-in electric heater.

The paper also contains technical documentation consisting of drawings that define the layout and installation, as well as the functional scheme of the connection and regulation of the system.

Key words: heating, cooling, ventilation, heat pumps, solar collectors

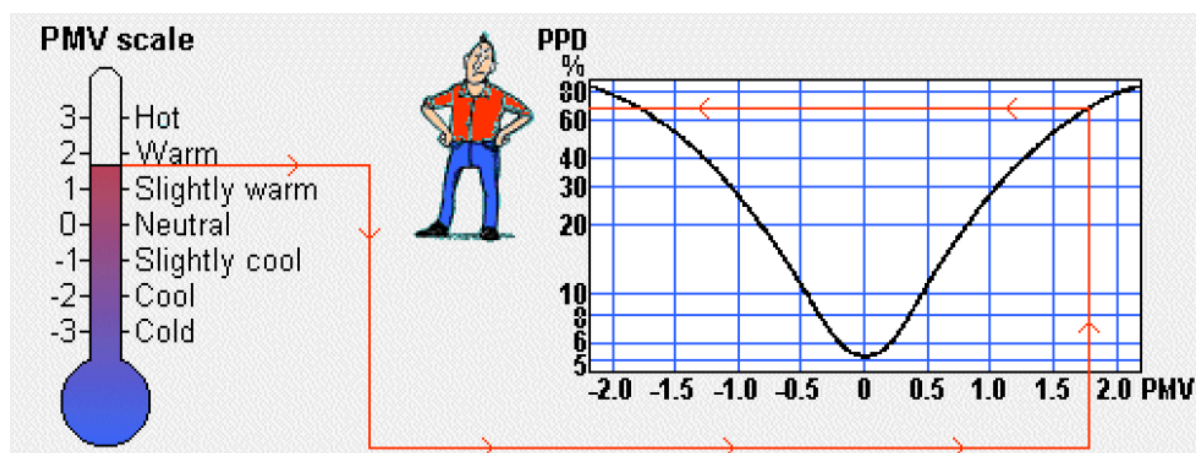
## 1. UVOD

Jedan od najvećih svjetskih problema, uz vodu, hranu, zagađenje i siromaštvo jest energija. Energija se tradicionalno u najvećoj mjeri dobiva iz fosilnih goriva, čije su zalihe pri kraju, a potreba za energijom ubrzano raste, pogotovo u zemljama u razvoju. Osim što su zalihe fosilnih goriva pri kraju, fosilna goriva su također veliki zagađivač okoliša. Iz navedenih razloga, čovječanstvo se sve više okreće proizvodnji energije iz obnovljivih izvora energije. Također, porasla je i svijest o racionalnom korištenju energije kroz razne tehničke pravilnike i propise. Oko 30% svjetske energije troši se upravo u zgradarstvu. Pri projektiranju sustava za grijanje, klimatizaciju, ventilaciju i pripremu tople vode cilj bi trebao biti koristiti što efikasnije sustave, odnosno smanjiti potrošnju energije sustava, a istovremeno zadovoljiti toplinsku ugodnost korisnika zgrade.

### 1.1. Toplinska ugodnost

Toplinska ugodnost definirana je kao stanje svijesti koje izražava zadovoljstvo toplinskim stanjem okoliša. Toplinska ugodnost nužno je individualna. Zadatak sustava grijanja, ventilacije i klimatizacije (GViK sustava), je da u zoni boravka ljudi osigura postizanje i održavanje parametara toplinske ugodnosti koji odgovaraju najvećem broju osoba. Faktori koji utječu na toplinsku ugodnost su temperatura zraka u prostoriji, temperatura ploha prostorije, vlažnost zraka, strujanje zraka, razina odjevenosti, razina fizičke aktivnosti te ostali faktori (kvaliteta zraka, buka, namjena prostorije itd). Toplinska ugodnost rezultat je zajedničkog djelovanja navedenih faktora i pri promjeni jedne veličine, istu ili sličnu razinu ugodnosti moguće je održati samo uz promjenu i neke druge veličine. Osjećaj toplinske ugodnosti može se vrednovati pomoću PMV (Predicted mean vote) i PPD (Predicted percentage of dissatisfied) indeksa. PMV predviđa subjektivno ocjenjivanje ugodnosti boravka u okolišu od strane grupe ljudi i određuje se iz složenih matematičkih izraza prema ISO 7730. PPD predviđa postotak nezadovoljnih osoba u prostoriji i određuje se iz jednostavnog matematičkog izraza kao funkcija od PMV. Prema ASHRAE-u razina ugodnosti vrednuje se prema skali PMV indeksa sa 7 točaka, od ledeno (-3), hladno (-2), pro hladno (-1), neutralno (0), blago toplo (+1), toplo (2) do vruće (3). Indeks PMV bi se trebao nalaziti u rasponu od -0,5 do 0,5. U slučaju kada vrijedi:  $-0,5 \leq \text{PMV} \leq +0,5$ , PPD indeks je manji ili jednak 10%, što znači da bi 10% osoba, ili manje, izrazilo nezadovoljstvo

toplinskim okruženjem. Na **Pogreška! Izvor reference nije pronaden..** prikazan je odnos PMV i PPD indexa. [1]



Slika 1. Odnos PMV i PPD indeksa

## 1.2. Sustav grijanja

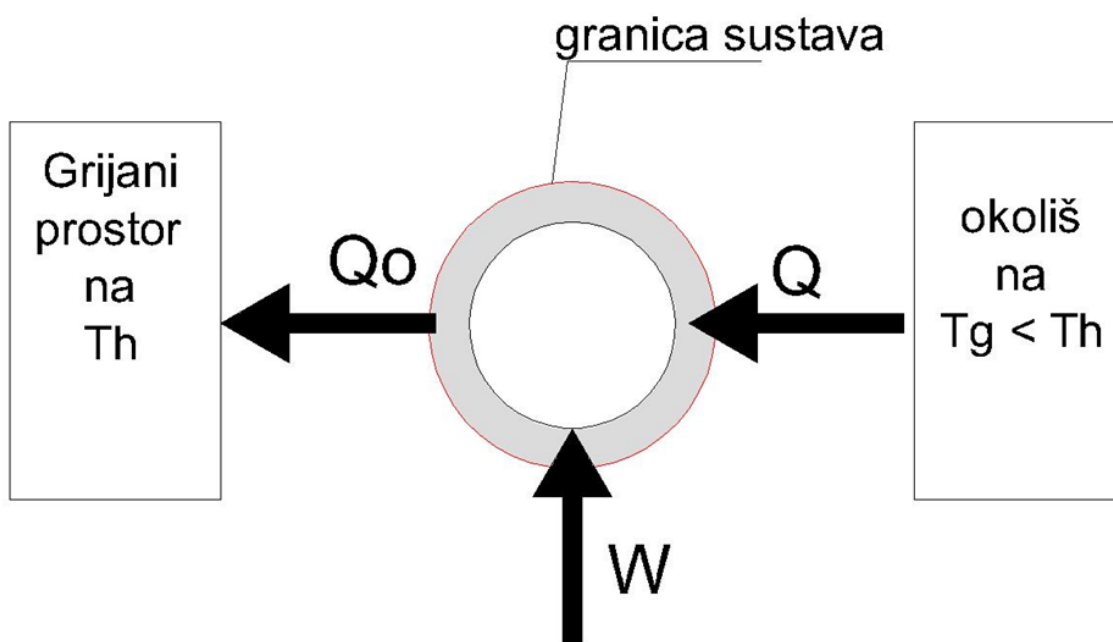
Zadatak sustava grijanja je postizanje i održavanje toplinske ugodnosti u sezoni grijanja prostora. Izbor sustava grijanja ovisi o mnogo faktora od kojih su najvažniji vremenski uvjeti (geografska lokacija), položaj i tip zgrade (stambena, poslovna, školska itd.), vrijeme korištenja zgrade, raspoloživost izvora energije, investicijski i pogonski troškovi, zakoni, propisi, norme i preporuke te utjecaj na okoliš. Sustavi grijanja mogu biti izvedeni kao pojedinačni grijači (izvor topline postavljen u pojedinoj prostoriji – peći, grijalice kamini itd.), centralno grijanje (jedan izvor topline za više prostora unutar zgrade – jedan ili više kotlova), daljinsko grijanje (jedan izvor topline za više zgrada, stambeni blok ili dio grada – toplana) i kao sustavi posebne izvedbe (obnovljivi izvori energije – sunčeva energija, biomasa, dizalice topline itd.). [1]

U ovom radu predviđen je toplovodni sustav grijanja posebne izvedbe u kojemu je dizalica topline tlo/voda s vertikalnim bušotinskim izmjenjivačima izvor topline. Sustav grijanja predviđen je s temperaturnim režimom 38/32 °C, a za sustav predaje topline predviđeno je površinsko grijanje u obliku podnog grijanja.

### 1.2.1. Dizalica topline kao izvor topline

Zbog sve većih cijena fosilnih goriva i sve većom svijesti o zaštiti okoliša, obnovljivi izvori energije sve više dobivaju na važnosti. Veći rast u korištenju obnovljivih izvora energije sprječavaju visoki investicijski troškovi. Jedan od najčešće korištenih sustava s obnovljivim izvorom energije su dizalice topline.

Dizalica topline je uređaj koji omogućava prijenos (toplinske) energije iz sustava (toplinskog spremnika) niže temperaturne razine u sustav (temperaturni spremnik) više temperaturne razine korištenjem dodatne energije (rada) pomoću lijevokretnog kružnog procesa. Na Slici 2 prikazan je termodinamički princip rada dizalice topline. Prekretanjem kružnog procesa, dizalica topline se također može koristiti i za hlađenje.



Slika 2. Termodinamički princip rada dizalice topline [2]

Za ocjenu rada dizalica topline koristi se faktor grijanja ili toplinski množitelj (COP, engl. coefficient of performance). COP je jednak omjeru toplinske energije koju je dizalica topline dovela nekom prostoru ili mediju i pogonske (mehaničke, električne i sl.) energije kojom se ostvaruje proces u njoj, odnosno omjeru ogrjevnog učina koji dizalica topline preko kondenzatora predaje prostoru ili mediju koji treba grijati i električne snage elektromotora koji pokreće njezin kompresor:



$$\varepsilon_{DT} = \frac{Q_{dov}}{E_{pog}} = \frac{\phi_{DT}}{P_{el}} = \frac{1}{1 - \frac{T_{izv}}{T_{pol}}} \quad (1.2)$$

gdje je

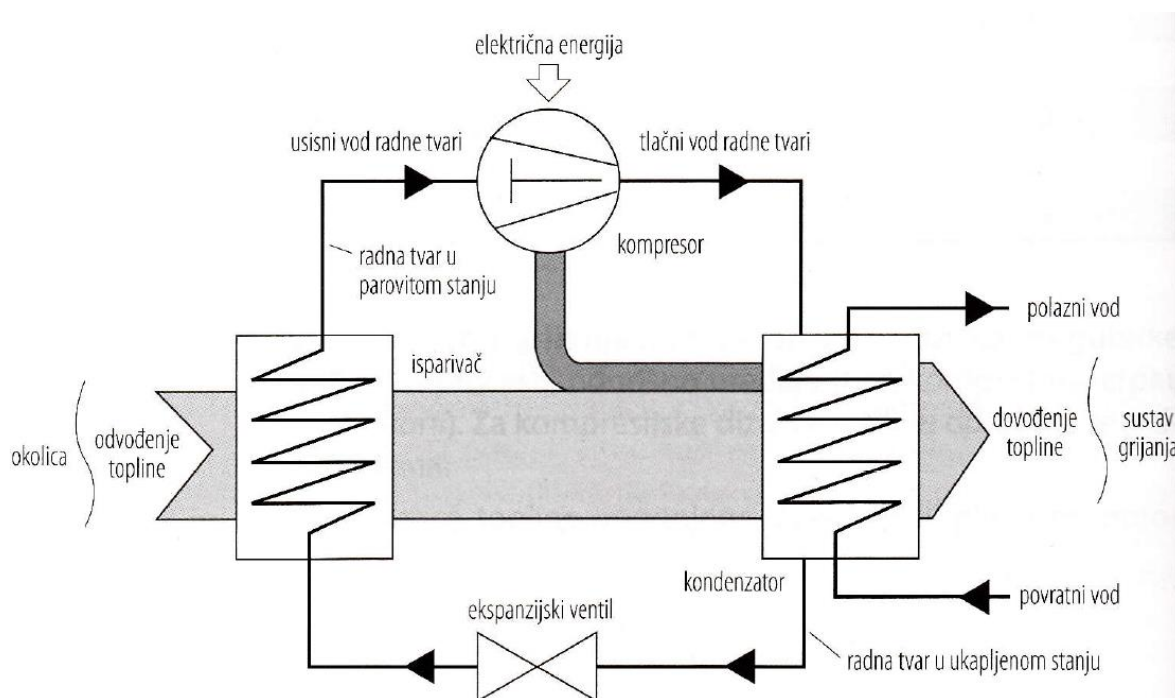
- $\varepsilon_{DT}$  - Faktor grijanja dizalice topline (COP), >1 (uvijek)
- $Q_{dov}$  - Toplina koja je dovedena nekom prostoru ili mediju, J
- $E_{pog}$  - pogonska energija za ostvarivanje procesa u dizalici topline, J
- $\phi_{DT}$  - toplinski učinak dizalice topline, W

Zbog principa rada, dizalice topline su vrlo prikladne kao izvori toplinskog (i rashladnog) učinka u sustavima grijanja, pripreme potrošne tople vode, ventilacije i klimatizacije.

Toplinski spremnici različitih temperaturnih razina pri tome su:

- Toplinski izvor: prostor ili medij niže temperaturne razine od kojeg se toplina odvodi (najčešće je to neposredna okolica: tlo, površinske ili podzemne vode, okolni zrak, otpadni zrak ili onečišćeni zrak iz prostorija ili raznih procesa, odnosno prikladni posredni medij)
- Toplinski ponor: prostor ili medij više temperaturne razine kojem se toplina dovodi (najčešće su to zrak u prostoriji, voda u sustavu grijanja, potrošna topla voda, odnosno prikladni ogrjevni medij).

Na slici 3 prikazan je pojednostavljeni prikaz rada kompresijske dizalice topline.



**Slika 3. Shema rada kompresijske dizalice topline [2]**

S obzirom na toplinski izvor, dizalice topline dijele se u tri osnovne skupine:

- Dizalice topline tlo – voda (rasolina – voda): kao toplinski izvor koriste slojeve tla
- Dizalice topline voda – voda: kao toplinski izvor koriste podzemne, površinske ili otpadne vode
- Dizalice topline zrak – voda i zrak – zrak: kao toplinski izvor koriste okolni, istrošeni, otpadni ili onečišćeni zrak

Dizalice topline najčešće se koriste kao izvori topline u sustavima grijanja i/ili za pripremu PTV-a obiteljskih kuća, stambenih, javnih i raznih drugih zgrada kao što su hoteli, ugostiteljski objekti, domovi, kampovi, vojarne i sl. Osnovni uvjeti za učinkovitu primjenu dizalice topline su:

- Raspoloživost toplinskog izvora dovoljno visoke i razmjerno konstantne temperature neko dulje vrijeme (npr. cijele sezone grijanja)
- Mala udaljenost toplinskih izvora i ponora
- Umjerena temperaturna razina toplinskog ponora (npr. niskotemperaturni sustav grijanja)
- Velik broj sati uporabe tijekom godine (radi veće isplativosti)
- Visoke cijene drugih izvora energije (čime se ostvaruju veće uštede)

U tablici 1 prikazane su najčešće mogućnosti primjene dizalica topline.

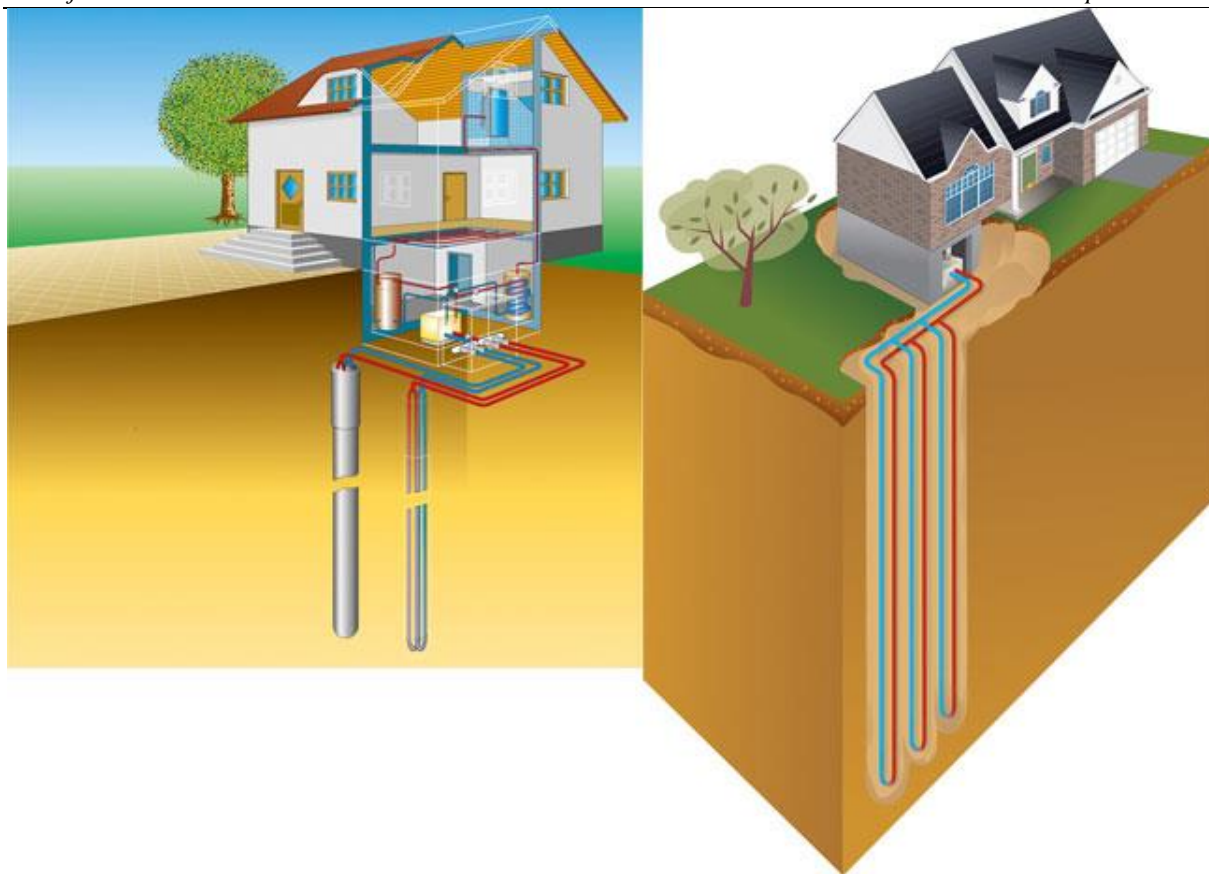
**Tablica 1. Najčešće mogućnosti primjene dizalica topline**

Ogrjevni učinak, kW	Primjena	Najčešći toplinski izvori
<b>3</b>	Sustavi pripreme PTV-a (osnovni izvor) i grijanja obiteljskih kuća (dodatni izvor)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Okolni zrak</li> <li>- Otpadni ili onečišćeni zrak prostorija ili sustava ventilacije i klimatizacije</li> </ul>
<b>16</b>	Sustavi grijanja i pripreme PTV-a obiteljskih kuća (osnovni izvor)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Okolni zrak</li> <li>- Otpadni ili onečišćeni zrak iz prostorija ili sustava ventilacije i klimatizacije</li> </ul>
<b>100</b>	Sustavi grijanja stambenih zgrada i manjih industrijskih pogona	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Otpadni, istrošeni ili onečišćeni zrak iz prostorija ili sustava ventilacije i klimatizacije</li> <li>- Tlo</li> <li>- Podzemne vode</li> <li>- Površinske vode (vodotoci i jezera)</li> <li>- Morska voda</li> </ul>

<b>1000</b>	Toplinski sustavi manjih naselja i industrijskih pogona	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Površinske vode (vodotoci i jezera)</li> <li>- Morska voda</li> <li>- Otpadne vode</li> </ul>
<b>10 000</b>	Toplinski sustavi većih naselja	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Otpadni ili onečišćeni zrak iz industrije (otpadna toplota)</li> <li>- Morska voda</li> <li>- Otpadne vode</li> </ul>

Kada se dizalice topline koriste u sustavu grijanja, najčešće se radi o niskotemperaturnom toplovodnom grijanju. Pri tome su najprikladniji sustavi površinskog grijanja (podnog, zidnog i stropnog), iako se kao ogrjevna tijela mogu koristiti i radijatori, no oni moraju biti prilagođeni niskotemperaturnom pogonu. Uz to, dizalice topline se mogu koristiti i u toplozračnom sustavu grijanja, odnosno sustavu ventilacije i klimatizacije. Glavni razlog zašto temperatura toplinskog ponora dizalica topline (tj. ogrjevnog medija sustava grijanja) treba biti što niža je ostvarivanje većeg faktora grijanja (omjera toplinskog učinka i pogonske električne snage) jer što je temperatura polaznog voda ogrjevnog medija niža, uz istu srednju temperaturu toplinskog izvora, faktor grijanja je veći.

U ovom radu predviđen je sustav grijanja u kojemu je dizalica topline tlo/voda s vertikalnim bušotinskim izmjenjivačima (U – sondama) topline izvor, prikazana na Slici. Sustav grijanja predviđen je s temperaturnim režimom 38/32 °C, a za podsustav predaje topline predviđeno je površinsko grijanje u obliku podnog grijanja. Dizalica topline povezana s tlom radi kao monovalentan sustav. Ovaj način rada dizalice topline podrazumijeva da cjelokupnu potrebu objekta za toplinom tijekom sezone grijanja pokriva isključivo dizalica topline. Učin dizalica topline se projektira prema ogrjevnom opterećenju zgrade. Na slici 4 prikazane su dubinske sonde smještene u zemlji.

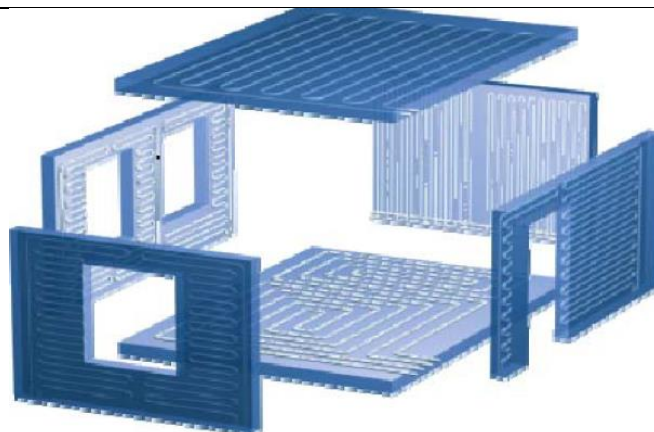


**Slika 4. Shema rada kompresijske dizalice topline [3]**

Vertikalni bušotinski izmjenjivač topline (dubinska sonda) primjenjuje se u slučajevima kada okućnica nije odgovarajuće površine za horizontalni zemljani kolektor. Osnovna prednost dubinske sonde je temperaturna stabilnost izvora topline, a glavni nedostatak je skuplja investicija zbog skupog bušenja tla.

### **1.3. Površinsko grijanje**

Sustav površinskog grijanja kao ogrjevna tijela koriste cijevi koje se postavljaju u građevinske elemente, odnosno u plohe prostorije, pri čemu se toplina izmjenjuje zračenjem i konvekcijom. Obzirom na smještaj dijele se na podno grijanje, stropne panelne grijače i zidne panelne grijače, prikazano na slici 5. [1]



**Slika 5. Prikaz ploha za površinsko grijanje [1]**

Glavne prednosti površinskog grijanja su povoljan temperaturni profil u prostoriji, nema vidljivih ogrjevnih tijela niti je potreban dodatni prostor u prostoriji za njih, te niske temperature medija. Kod podnog grijanja maksimalna temperatura poda u zoni boravka ograničena je na 29 °C (za duži boravak u prostoriji 27 °C), dok u kupaonicama ta temperatura iznosi 33 °C [4]. Glavni nedostaci površinskog grijanja je veliki sadržaj vode u sustavu što utječe na tromost sustava (sporiji odziv regulacije), skup popravak u slučaju oštećenja te viši investicijski troškovi.

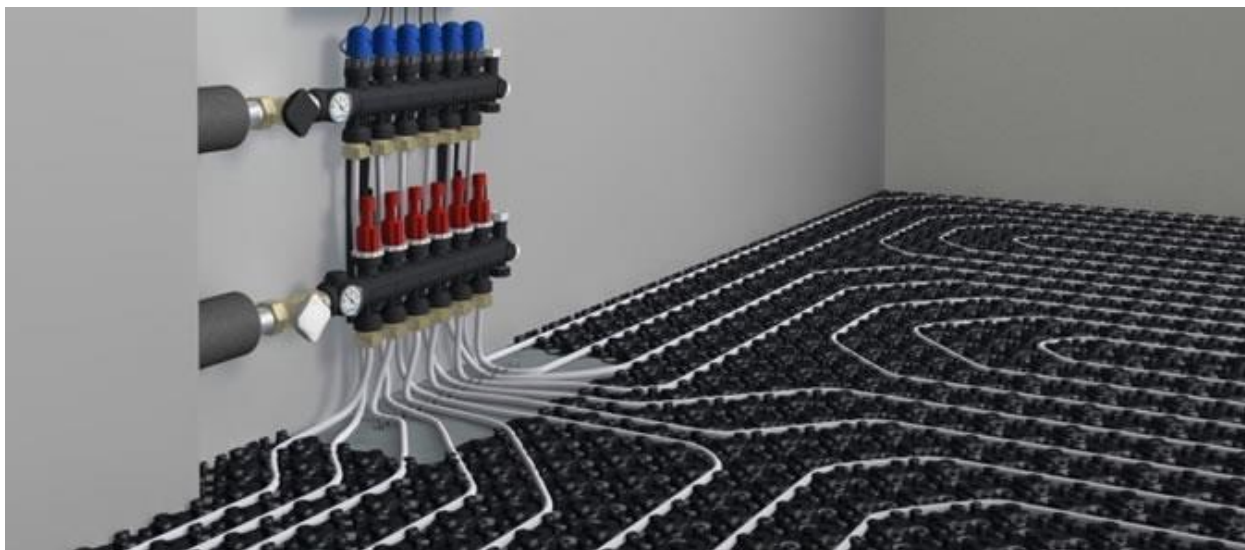
Pri dimenzioniranju i izvođenju sustava podnog grijanja od iznimne je važnosti površina ogrjevnice plohe, odnosno poda. U stambenim je prostorijama površina ogrjevnice plohe jednaka ukupnoj neto površini prostorije, dok se u kupaonici od nje treba oduzeti dio na koji se postavljaju kupaonski elementi. Ukupna se površina prostorije može podijeliti na boravišnu zonu i na rubnu zonu koja zauzima dio površine poda uz vanjske zidove i prozore širine 1 m. Ukoliko je potrebno instalirati veći ogrjevni učin u prostoriji utoliko je moguće povišiti površinsku temperaturu u rubnoj zoni, odnosno smanjiti razmak između cijevi podnog grijanja.

Cijevi podnog grijanja u podu mogu biti odvojene od estriha (tzv. "suha ugradnja") ili se mogu nalaziti u estrihu ("mokra ugradnja"). Iznimno je važno postavljanje toplinske izolacije kako bi se smanjili toplinski gubici. Također, ukupni toplinski otpor podne obloge ograničen je na najviše 0,15 m<sup>2</sup>K/W. Za izradu cijevi podnog grijanja koristi se bakar ili polimerni materijali. Najveći dopušteni pad tlaka u petlji podnog grijanja iznosi 25 kPa, pa se obzirom na to ograničenje dimenzioniraju promjer i duljina cjevovoda jedne petlje.

Količina prenesene topline s ogrjevnice plohe u prostoriju ovisna je o protoku ogrjevnog medija, razlici temperatura polaznog i povratnog voda, duljini petlje, dimenzijama i

međusobnom razmaku cijevi podnog grijanja (10 – 30 cm), temperaturi zraka u prostoriji te površini ogrjevnog plohe.

Petlje podnog grijanja spojene su na razdjelni ormarić koji je smješten u jednoj prostoriji prikazano na slici 6. Broj petlji određuje prema potrebnom toplinskom opterećenju, veličini i obliku prostorije, tehničkim mogućnostima, te da ispunjavaju spomenuta ograničenja za pad tlaka u cijevima (iskustvena maksimalna duljina petlje iznosi 120 m) i maksimalnu temperaturu poda u boravišnoj zoni.



**Slika 6. Razdjelnik za cijevi podnog grijanja [4]**

Cijevi podnog grijanja mogu se postaviti kao pužna petlja ili kao serpentina petlja, prikazano na slici 7.



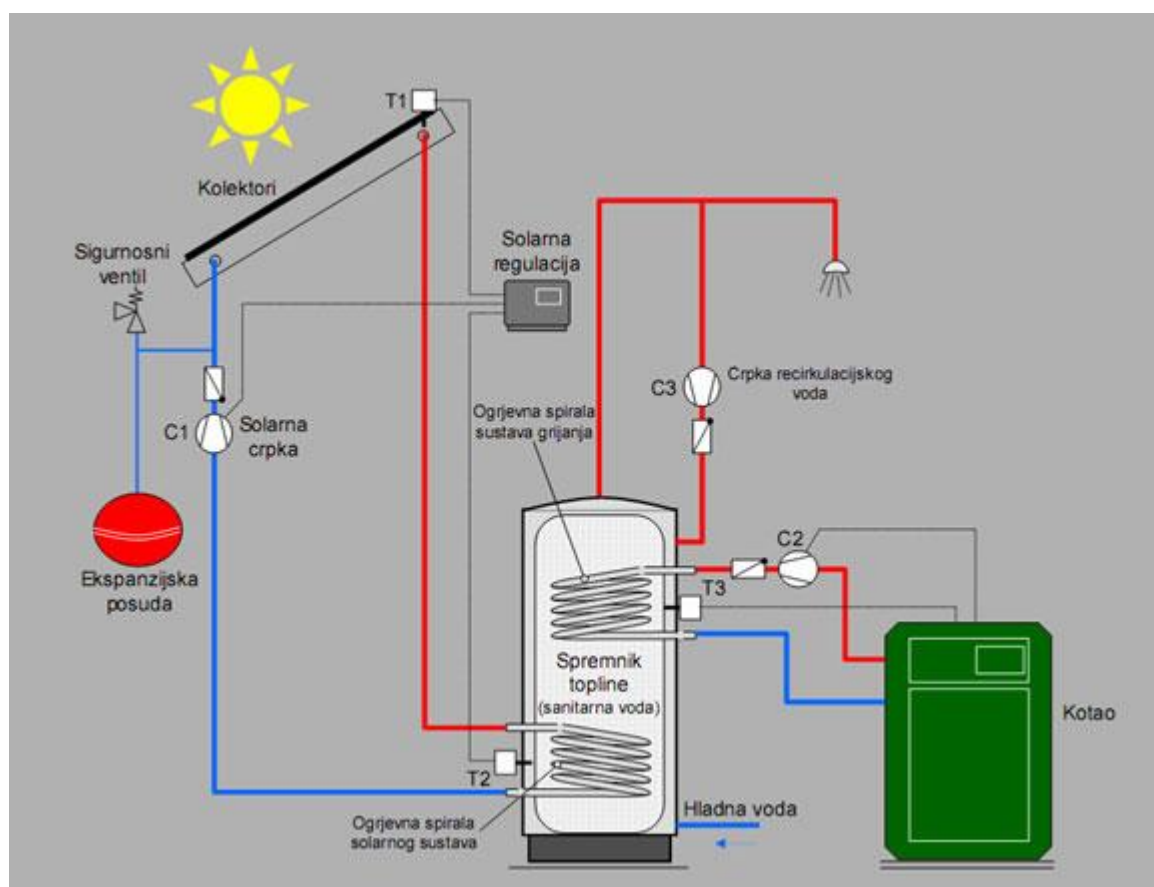
**Slika 7. Cijevi podnog grijanja postavljene u pužnu (lijevo) i serpentinu petlju (desno) [4]**



#### 1.4. Sustav pripreme potrošne tople vode

Predviđeni sustav za pripremu potrošne tople vode (PTV) jest solarni sustav. Sunčeva energija kao najvažniji oblik obnovljivih izvora energije ima ogroman potencijal za korištenje. Sunčeva dozračena energija ovisna je o lokaciji objekta i dijelu dana, a najintenzivnije je oko podneva, stoga bi kolektori trebali biti postavljeni tako da su okrenuti prema jugu. Na količinu dozračene energije na površinu utječe i nagib same površine. Za Hrvatsku se najoptimalniji rezultati na godišnjoj razini prikupljanja sunčeve energije postižu kada je kut nagiba plohe između  $30^\circ$  i  $45^\circ$ . [6] U našem podneblju za cjelogodišnje potrebe potrošne tople vode i grijanja solarni sustav kao samostalan izvor energije nije dovoljan te je potreban i dodatni izvor topline.

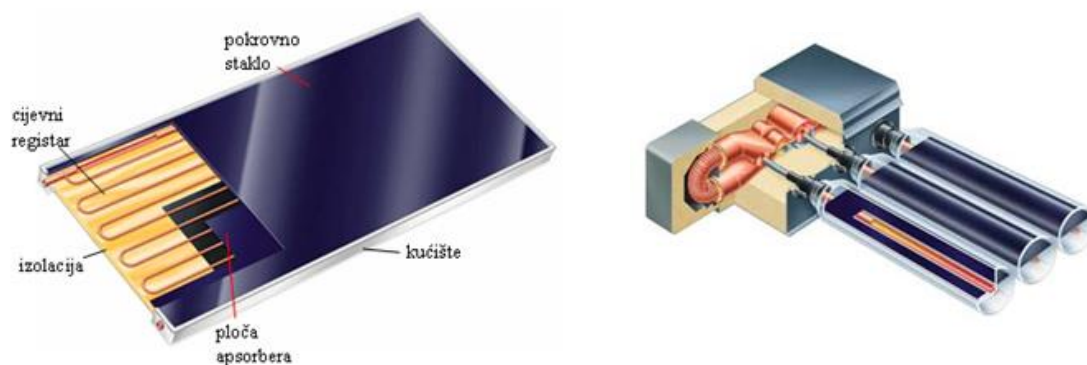
Solarni sustavi za pripremu potrošne tople vode sastoje se od sunčevih kolektora, spremnika tople vode, automatike i pomoćnog izvora topline. [7] Primjer solarnog sustava s bivalentnim spremnikom i kotlom kao dodatnim izvorom energije za PTV prikazan je na Slici 8.



Slika 8. Solari sustav za pripremu PTV-a s bivalentnim spremnikom [8]

Solarni kolektor je najvažnija komponenta solarnog sustava. Kolektori prikupljaju sunčevu energiju i predaju je radnom mediju koji struji u zatvorenom krugu između kolektora i spremnika tople vode, a kojoj potom preko izmjenjivača topline predaje prikupljenu toplinsku energiju. Budući da solarni sustav najbolje radi kada je sunčano, potrebno je predvidjeti veliki spremnik tople potrošne vode radi akumulacije prikupljene topline za sunčanih dana. Optimalno dimenzioniran solarni sustav može zadovoljiti od 45% do 75% godišnjih potreba za potrošnom toplom vodom. U ovom radu solarni kolektori zagrijevaju spremnik od 500 l. U periodima kada solarni sustav ne može zagrijati vodu na traženu temperaturu, voda odlazi u drugi spremnik na dogrijavanje uz pomoć dizalice topline i električnog grijača, integriranog u dizalicu topline.

U komercijalnom korištenju kolektori se mogu podijeliti na pločaste kolektore i na cijevne vakuumске kolektore. Odabir vrste i broja kolektora ovisi o nekoliko parametara: klimatsko područje, zakrenutosti kolektora prema jugu i nagiba od horizontale, predviđenom uporabi kolektora (priprema PTV-a ili i pomoć pri grijanju), veličini akumulacijskog spremnika i željenoj temperaturi u spremniku. U ljetnim mjesecima pločasti i cijevni vakuumski kolektori mogu zagrijati podjednaku količinu vode, dok u prijelaznom periodu i zimi više energije može dati cijevni vakuumski kolektor [7]. Razlika konstrukcije pločastog i vakuumskog kolektora prikazana je na slici 9.

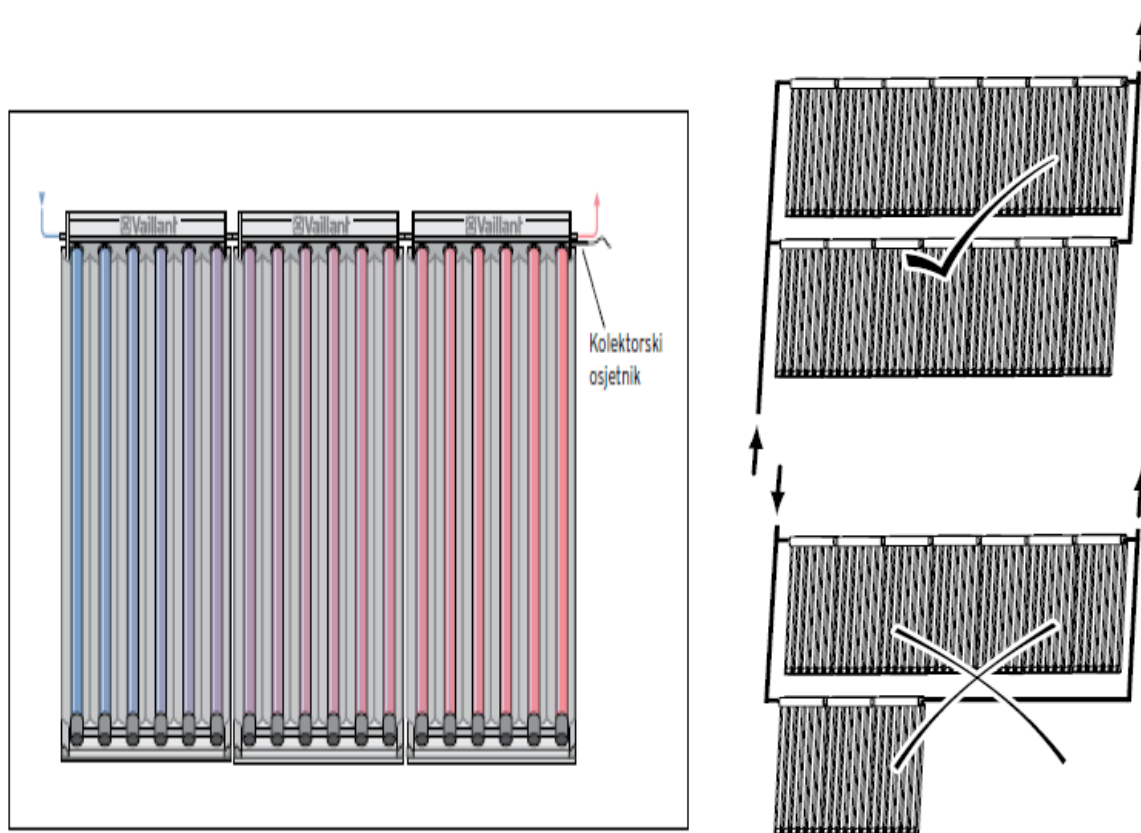


**Slika 9. Pločasti (lijevo) i cijevni vakuumski (desno) solarni kolektor [8] [9]**

Kolektore je moguće međusobno spajati u serijski ili paralelni spoj. Pri spajanju kolektora potrebno je ispravno spojiti i dimenzionirati cjevovod kako bi se osigurao jednoliki protok kroz sve kolektore i kako bi sustav bio izbalansiran. Pri povezivanju solarnih kolektora u serijski ili paralelni spoj najbolje je pratiti upute za projektiranje proizvođača odabranog



solarnog kolektora.[7] Primjer serijski i paralelno spojenih vakuumskih solarnih kolektora prikazan je na Slici 10.



**Slika 10. Primjer serijskog (lijevo) i paralelnog spoja solarnih kolektora [10]**

### 1.5. Ventilacijski sustavi

Ventilacija predstavlja namjerno ubacivanje zraka iz vanjskog okoliša u građevinu u svrhu postizanja i održavanja određene kvalitete zraka u prostoru. Kvaliteta zraka (IAQ, eng. Indoor Air Quality) u unutarnjem prostoru pojam je povezan s ugodnošću boravka u prostoriji i zdravljem ljudi koji u tom prostoru borave.

Osnovni razlozi ventilacije unutarnjeg prostora su:

- dobava vanjskog zraka (kisika) za disanje ljudi (i/ili životinja),
- kontrola koncentracije zagađivača u prostoru (protok vanjskog zraka može se regulirati ovisno i koncentraciji zagađivača u unutrašnjem prostoru) ili potpuno uklanjanje (odsis) zagađivača iz prostora,
- pokrivanje toplinskih opterećenja zgrade (održavanje temperature i vlažnosti),

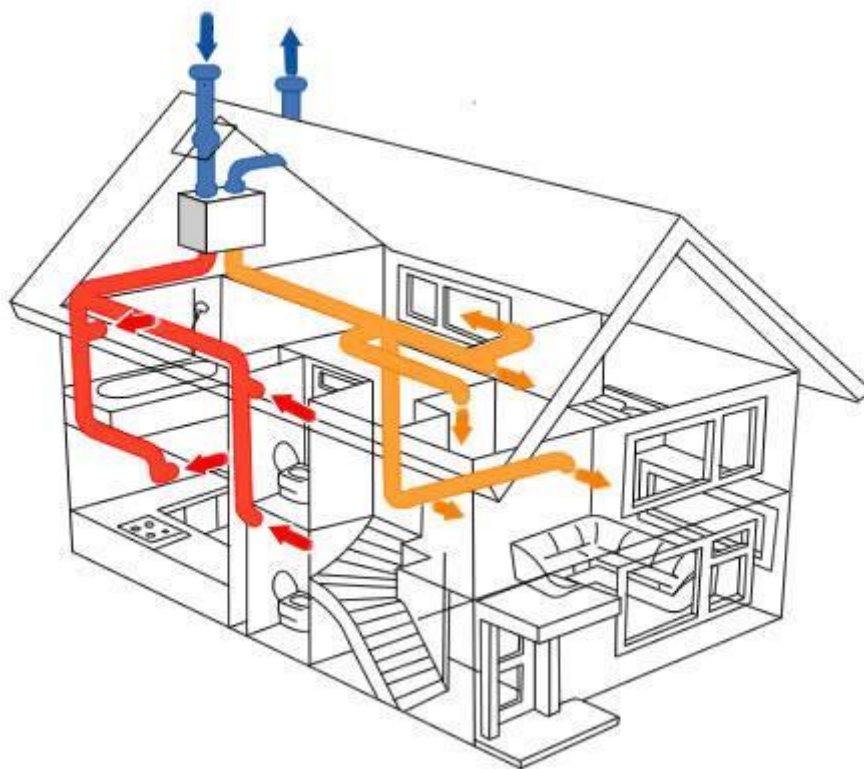
- održavanje jednolikog strujanja stanja zraka u zoni boravka. [11]

Sustav prisilne ventilacije može se podijeliti na sustav centralne ventilacije (priprema zraka vrši se na jednoj centralnoj lokaciji za cijelu zgradu, a zatim se zrak distribuira u prostorije) i decentralizirani (lokalni) sustav ventilacije (priprema zraka vrši se za svaku zonu/prostor zasebno).

Tri osnovne izvedbe sustava prisilne ventilacije su:

- tlačna ventilacija – prostori u pretlaku (soba učionica)
- odsisna ventilacija – prostori u podtlaku (kuhinja, toalet, kupaoonica)
- tlačna i odsisna ventilacija (komforna ventilacija, industrijska ventilacija)

Najvažnije prednosti sustava mehaničke ventilacije su činjenica da nije ovisna o vanjskim uvjetima, dobra mogućnost regulacije, velik izbor opreme i pojednostavljen proces projektiranja sustava. Nedostaci sustava prisilne ventilacije su veliki investicijski troškovi, velika potrošnja energije te problem buke ukoliko sustav nije dobro dimenzioniran. U manjim prostorijama problem mogu i predstavljati dimenzije i smještaj ventilacijskih cijevi. Na Slici 11 prikazan je primjer sustava centralne ventilacije s rekuperacijom topline iz istrošenog zraka.



**Slika 11. Sustav centralne mehaničke ventilacije [12]**

## 2. OPIS ZGRADE

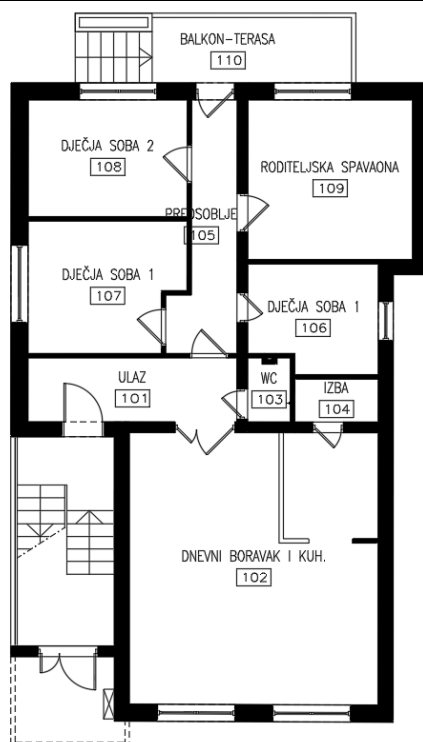
Projektiranje sustava za grijanje i hlađenje provodi se za stambenu zgradu smještenu u Zagrebu, prema arhitektonskim podlogama. Na slici 12 prikazan je prostorni smještaj zgrade. Zgrada je okružena drvećem i drugim zgradama.



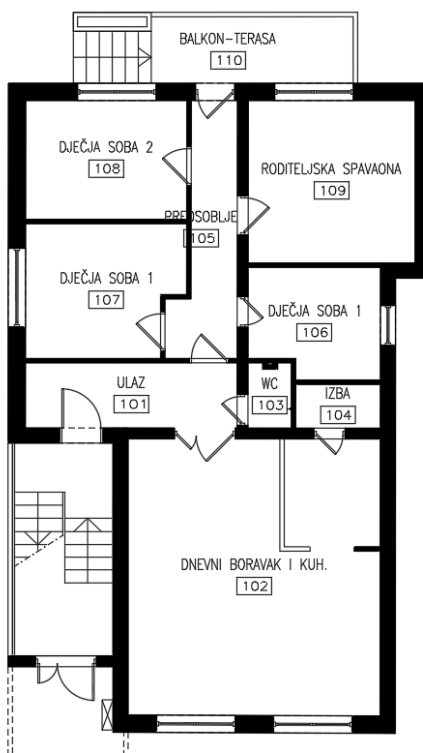
Slika 12. Smještaj zgrade u prostoru

Površine ovojnice zgrade orijentirane su prema istoku, zapadu, sjeveru i jugu. Glavni ulaz u zgradu je s kolnika na jugu.

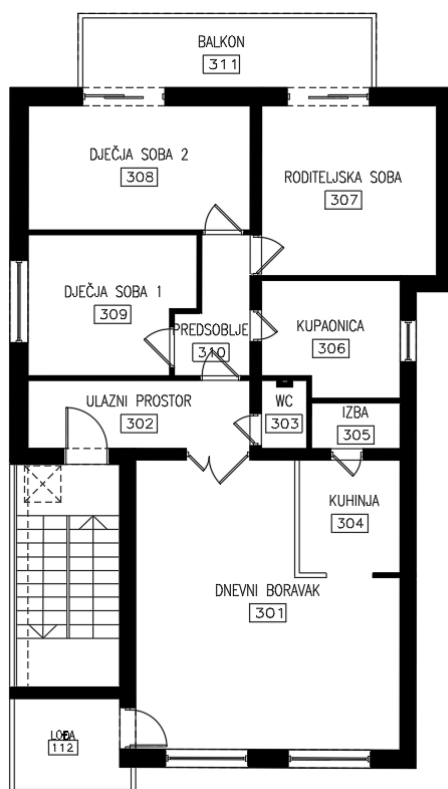
Zgrada se sastoji od tri etaže: prizemlja, prvog kata i drugog kata. Ukupna površina zgrade iznosi  $413 \text{ m}^2$ , a grijani dio zgrade iznosi  $337 \text{ m}^2$ . Bruto volumen zgrade iznosi  $1335 \text{ m}^3$ , dok grijani volumen zgrade iznosi  $1178 \text{ m}^3$ . Na slikama 13-15 tlocrtno su prikazane etaže zgrade, a na slici 16 prikazana su pročelja zgrade.



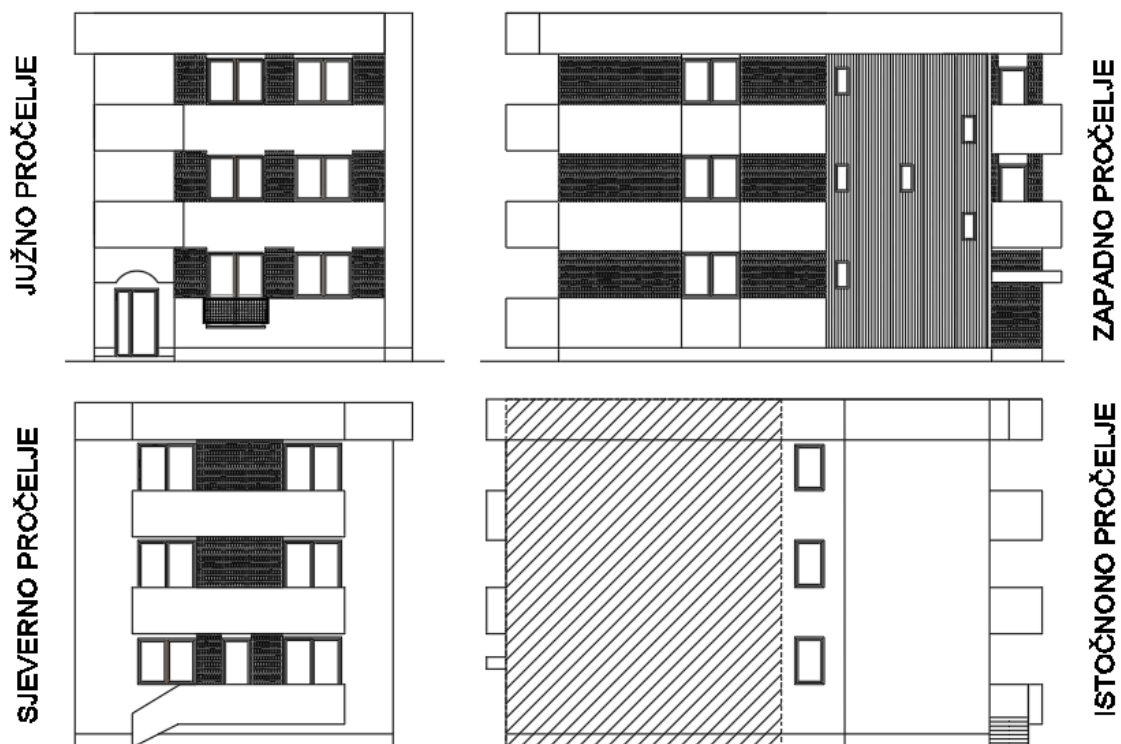
Slika 13. Tlocrt prizemlja zgrade



Slika 14. Tlocrt prvog kata zgrade



Slika 15. Tlocrt drugog kata zgrade



Slika 16. Pročelja zgrade

Na svakom stanu nalazi se jedan stan. U stanove se ulazi iz negrijanog zajedničkog stubišta. Vanjski zidovi zgrade dobro su izolirani ekspanziranom polistirenom debljine 180 mm, dok krov ima DDP Tervol izolacijske ploče debljine 240 mm. U tablici 2 prikazani su koeficijenti prolaza topline za zidove i prozore.

**Tablica 2. Koeficijenti prolaza topline toplinske ovojnice zgrade**

<i>Površina</i>	<i>U [W/m<sup>2</sup>k]</i>
<i>Pod prema tlu</i>	0.16
<i>Vanjski zid</i>	0.15
<i>Međukatna konstrukcija</i>	1.15
<i>Ravni krov</i>	0.12
<i>Zid prema negrijanim prostorijama</i>	0.41
<i>Unutrašnji zidovi</i>	1.07
<i>Vrata prema negrijanom stubištu</i>	1.2
<i>Prozori</i>	1.0

Predviđeno je da su sva tri stana u zgradi u uporabi i da u svakom stanu stanuju 4 osobe. U tablici 3 prikazani su ulazni podaci korišteni pri proračunu ogrjevnog i rashladnog opterećenja zgrade.

**Tablica 3. Ulazni podaci za proračun ogrjevnog opterećenja**

<i>Vanjska projektna temperatura</i>	-13 °C
<i>Unutarnja projektna temperatura grijanja soba</i>	20
<i>Unutarnja projektna temperatura grijanja kupaoalice</i>	24
<i>Unutarnja projektna temperatura grijanja hodnika</i>	18
<i>Klasa zaštićenosti zgrade</i>	Zaštićen tip
<i>Tip zgrade</i>	Obiteljska
<i>Stupanj zabrtvljenosti</i>	Srednji
<i>Broj izmjena zraka zgrade n<sub>50</sub></i>	4
<i>Masivnost zgrade</i>	Teška
<i>Površina podne plohe zgrade</i>	121.55 m <sup>2</sup>
<i>Opseg podne plohe zgrade</i>	41.94 m <sup>2</sup>
<i>Parametar B'</i>	5.8

### 3. SUSTAV GRIJANJA

#### 3.1. Projektni gubici topline

U svrhu dimenzioniranja sustava grijanja i ogrjevnih tijela, najprije je potrebno odrediti toplinske gubitke zgrade. Proračun projektnih toplinskih gubitaka vrši se prema normi HRN EN 12831 koja definira proračun potrebnog toplinskog učina za održavanje projektne temperature u grijanim prostorijama pri vanjskim projektnim uvjetima. Unutarnja projektna temperatura ovisi o namjeni prostora. Vanjska projektna temperatura uzima se ovisno o lokaciji objekta.

Projektni toplinski gubici računaju se za svaku grijanu prostoriju zasebno, a zatim se njihovim sumiranjem dobivaju ukupni toplinski gubici zgrade. Toplinski gubici zgrade sastoje se od transmisijskih i ventilacijskih gubitaka i određeni su sljedećim izrazom:

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \text{ [W]} \quad (3.1)$$

gdje je

- $\Phi_i$  - projektni gubici topline prostorije [W]
- $\Phi_{T,i}$  - projektni transmisijski gubici topline prostorije [W]
- $\Phi_{V,i}$  - projektni ventilacijski gubici topline prostorije [W]

##### 3.1.1. Projektni transmisijski gubici

Proračun transmisijskih gubitaka podrazumijeva proračun izmjene topline kroz građevne elemente prema vanjskom okolišu, prema susjednim negrijanim prostorijama, prema susjednim prostorijama grijanim na nižu temperaturu te prema tlu. Transmisijski gubici topline definirani su sljedećim izrazom:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \text{ [W]} \quad (3.2)$$

gdje je

- $H_{T,ie}$  - koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu [W/K]
- $H_{T,iue}$  - koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu [W/K]
- $H_{T,ig}$  - stacionarni koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema tlu

[W/K]

- $H_{T,i,j}$  - koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema susjednom grijanom prostoru različite temperature [W/K]
- $\theta_{int,i}$  - unutarnja projektna temperatura grijanog prostora [°C]
- $\theta_e$  - vanjska projektna temperatura [°C]

### 3.1.2. Projektni ventilacijski gubici

Pri proračunu ventilacijskih toplinskih gubitaka potrebno je definirati postoji li predviđen sustav mehaničke ventilacije ili se zgrada provjetrava na prirodan način. Ventilacijski toplinski gubici određeni su izrazom:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [\text{W}] \quad (3.3)$$

gdje je

- $H_{V,i}$  - koeficijent ventilacijskih gubitaka [W/K]
- $\theta_{int,i}$  - unutarnja projektna temperatura grijanog prostora [°C]
- $\theta_e$  - vanjska projektna temperatura [°C]

Koeficijent ventilacijske izmjene topline u sebi sadrži volumenski protok zraka koji ulazi u prostoriju, a određuje se zavisno o tome je li predviđen sustav mehaničke ventilacije u zgradi.

$$H_{V,i} = V_i \cdot \rho \cdot c_p \quad [\text{W/K}] \quad (3.4)$$

gdje je

- $V_i$  - protok zraka u grijani prostor [m<sup>3</sup>/s]
- $\rho$  - gustoća zraka pri  $\theta_{int,i}$  [kg/m<sup>3</sup>]
- $c_p$  - specifični toplinski kapacitet zraka pri  $\theta_{int,i}$  [kJ/kgK]

U slučaju kada nije predviđena mehanička ventilacija u zgradi, protok zraka  $V_i$  definiran je izrazom:

$$V_i = \max(V_{inf,i}, V_{min,i}) \quad [\text{W/K}] \quad (3.5)$$

gdje je

- $V_{inf,i}$  - maksimalni protok zraka u prostoriju uslijed infiltracije kroz zazore [m<sup>3</sup>/h]
- $V_{min,i}$  - minimalni higijenski protok zraka (ovisno o namjeni prostorije) [m<sup>3</sup>/h]



U slučaju kada je predviđena mehanička ventilacija, protok zraka  $V_i$  definiran je izrazom:

$$V_i = V_{inf,i} + V_{su,i} \cdot f_{V,i} + V_{mech,inf,i} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (3.6)$$

gdje je

- $V_{inf,i}$  - protok zraka u prostoriji uslijed infiltracije kroz zazor [m<sup>3</sup>/h]
- $V_{su,i}$  - količina zraka dovođena mehaničkim sustavom ventilacije [m<sup>3</sup>/h]
- $f_{V,i}$  - faktor smanjenja temperaturne razlike
- $V_{mech,inf,i}$  - višak odvedenog zraka iz prostorije [m<sup>3</sup>/h]

### 3.1.3. Dodatna toplina za prekid rada sustava

Ukoliko je predviđen prekid sustava grijanja, zbroju transmisijskih i ventilacijskih gubitaka potrebno je dodati i toplinski tok potreban za naknadno zagrijavanje prostora. Prostor s prekidima grijanja zahtijevaju dodatnu toplinu za zagrijavanje do projektne temperature prostorije nakon što se temperatura spusti u periodu prekida grijanja. Dodatna toplina za zagrijavanje ovisi o:

- toplinskom kapacitetu elemenata građevine
- vremenu zagrijavanja
- temperaturom padu tijekom perioda mirovanja sustava
- svojstvima sustava regulacije

Dodatna toplina određena je izrazom:

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} \quad [\text{W}] \quad (3.7)$$

gdje je

- $A_i$  - površina poda grijanog prostora [m<sup>2</sup>]
- $f_{RH}$  - korekcijski faktor ovisan o vremenu zagrijavanja i pretpostavljenom padu temperature za vrijeme prekida [W/ m<sup>2</sup>]

### 3.1.4. Ukupno projektno opterećenje

Nakon određenih transmisijskih i ventilacijskih gubitaka, te dodatne topline za zagrijavanje, njihovim sumiranjem dolazi se do izraza za toplinsko opterećenje zgrade koje se koristi za dimenzioniranje sustava grijanja i ogrjevnih tijela:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i} \quad [\text{W}] \quad (3.8)$$

gdje je

- $\Phi_{HL,i}$  - projektno opterećenje [W]
- $\Phi_{T,i}$  - ukupni transmisijski gubici zgrade [W]
- $\Phi_{V,i}$  - ukupni ventilacijski gubici zgrade [W]
- $\Phi_{RH,i}$  - dodatna toplina za zagrijavanje zbog prekida grijanja [W]

Svi navedeni izrazi opisani su detaljnije u normi HRN EN 12831.

### 3.1.5. Primjer proračuna za jednu prostoriju

U tablici 4 prikazan je proračun proveden u računalnom programu Microsoft Excel. Odabrana prostorije je prostorija dnevnog boravka na drugom katu. Prostorija ima površine prema okolini (VZ – vanjski zid, BV – balkonska vrata, P1- prozor, RK – ravni krov), prema negrijanom stubištu (ZPS), te prema prostoriji grijanoj na drugačiju temperaturu (UVDB – unutrašnja vrata dnevnog boravka i UZD – unutrašnji debeli zid).

**Tablica 4. Proračun projektnih gubitaka topline za prostoriju Dnevni boravak**

#### *Dnevni boravak*

Dnevni solariraj													
$\theta_s$				-13	°C								
$\theta_{int,i}$				20	°C								
$f_{RH}$				6	W/m <sup>2</sup>								
$n_{min}$				0.5	h <sup>-1</sup>								
$H_{v,i}$				20.9	W/K								
Površina	Orije ntac ija	D	V/Š	A	Ao	A'	U	ΔΘ	b <sub>u</sub>	f <sub>ij</sub>	H <sub>t</sub>	Q <sub>t,i</sub>	
		m	m	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup> K	°C	-	-	W/K	W	
	VZ	Z	1.5	3.3	5.0	1.7	3.3	0.15	33	0		0.5	17
	BV	Z	0.9	1.9	1.7	0.0	1.7	1	33	0		1.7	56
	PI	J	1.8	1.4	2.6	0.0	2.6	1	33	0		2.6	85
	PI	J	1.8	1.4	2.6	0.0	2.6	1	33	0		2.6	85
	VZ	J	6.5	3.3	21.5	5.2	16.4	0.15	33	0		2.5	81
	VZ	I	6.9	3.3	22.8	0.0	22.8	0.15	33	0		3.4	113
	RK	hor.	6.5	6.9	45.6	0.0	45.6	0.12	33	0		5.5	180
	ZPS	Z	5.2	3.3	17.0	0.0	17.0	0.41	12	0.36		2.5	84
UVDB	S	1.4	2.0	2.8	0.0	2.8	1.2	2	0	0.06	0.2	7	
UZD	S	3.0	3.3	9.9	2.8	7.1	2.81	2	0	0.06	1.2	40	

Projektni transmisijski gubici prostorije $\Phi_{T,i}$	749
Projektni transmisijski gubici prostorije $\Phi_{V,i}$	690
Dodatak zbog prekida grijanja $\Phi_{RH,i}$	33
<b>Ukupni toplinski gubici prostorije</b>	<b>1472</b>

### 3.2. Rezultati proračuna projektnih gubitaka topline

Proračun projektnih toplinskih gubitaka proveden je u skladu s normom HRN EN 12831. Proračun je proveden uz pomoć software-a "IntegraCad 2012". U proračunu za projektno toplinsko opterećenje pretpostavljeno je da je zgrada obiteljskog tipa, teške konstrukcije i da pripada klasi zaštićenog tipa zgrada, te da je stupanj zabrtvljenosti zgrade srednji stoga odabrani broj izmjena zraka za cijelu zgradu  $n_{50}$  (broj izmjena zraka u jednom satu u prostoriji pri razlici tlaka 50 Pa) iznosi 4. U Tablici 5 prikazani su projektni toplinski gubici za promatranu zgradu. Pri izračunu dodatne topline zbog prekida rada grijanja pretpostavljeni pad temperature tijekom noći iznosi 1 K, a vrijeme zagrijavanje je 2 h. Korekcijski faktor  $f_{RH}$  u tome slučaju iznosi 6 W/ m<sup>2</sup>.

**Tablica 5. Rezultati proračuna projektnih gubitaka po prostorijama**

		<i>Projektna temperatu ra</i>	<i>Transmijski gubici</i>	<i>Ventilacijski gubici</i>	<i>Dodatna toplina za prekid grijanja</i>	<i>Ukupni toplinski gubici</i>
<i>P</i>	<b>Prizemlje</b>					
	<b>Prostorija</b>	$\theta_{int,i}$ (°C)	$\Phi_{T,i}$ (W)	$\Phi_{V,i}$ (W)	$\Phi_{RH,i}$ (W)	$\Phi_i$ (W)
102	Dnevni boravak	20	532	684	270	1486
105	Hodnik 1	18	79	137	57	273
103	WC	20	24	29	11	64
104	Garderoba	20	17	43	17	77
109	Spavaća soba	20	281	281	111	673
106	Kupaona	24	277	151	53	481
105	Hodnik 2	18	62	127	53	242
108	Dječja soba 2	20	202	201	79	482
107	Dječja soba 1	20	167	189	74	430
	<b>Prizemlje:</b>		<b>1641</b>	<b>1842</b>	<b>725</b>	<b>4208</b>
<i>P</i>	<b>Kat 1</b>					
	<b>Prostorija</b>	<i>tu</i> (°C)	<b>PhiT</b> (W)	<b>PhiV</b> (W)	<b>Phi RH</b> (W)	<b>Qn</b> (W)
201	Dnevni	20	533	683	270	1486

	boravak					
207	Spavaća soba	20	251	283	112	646
206	Kupaona	24	262	131	46	439
203	WC	20	24	30	12	66
205	Garderoba	20	25	60	23	108
202	Hodnik 1	18	77	137	57	271
208	Dječja soba 2	20	232	262	103	597
209	Dječja soba 1	20	167	189	74	430
204	Hodnik 2	18	0	69	29	98
	<b>Kat 1:</b>		<b>1571</b>	<b>1844</b>	<b>726</b>	<b>4141</b>

<i>P</i>	<b>Kat 2</b>					
	<b>Prostorija</b>	<b>tu</b>	<b>PhiT</b>	<b>PhiV</b>	<b>Phi RH</b>	<b>Qn</b>
		(°C)	(W)	(W)	(W)	(W)
301	Dnevni boravak	20	748	690	273	1711
307	Spavaća soba	20	342	283	111	736
306	Kupaona	24	320	132	46	498
303	WC	20	34	30	11	75
305	Garderoba	20	43	60	23	126
308	Dječja soba 2	20	314	260	103	677
302	Hodnik 1	18	113	131	55	299
209	Dječja soba 1	20	227	190	75	492
310	Hodnik 2	18	18	69	29	116
	<b>Kat 2:</b>		<b>2159</b>	<b>1845</b>	<b>726</b>	<b>4730</b>
	<b>Ukupno zgrada:</b>		<b>5371</b>	<b>5531</b>	<b>2177</b>	<b>13079</b>

Budući da je za sustav grijanja predviđeno podno grijanje, u proračun nisu uzeti transmisijski gubici prema tlu radi jako dobre izoliranosti podnih površina. Ukupni projektni toplinski gubici u iznosu od 13079 W uzimaju se kao mjerodavni za projektiranje sustava grijanja i dimenzioniranje ogrjevnih tijela.

### 3.3. Dimenzioniranje ogrjevnih tijela

Dimenzioniranje cjevovoda podnog grijanja također je odrađeno u software-u "IntegraCAD 2012". Temperatura polaznog i povratnog voda u režimu grijanja iznose 38/32 °C. U svakom stanu spojeno je 10 petlji podnog grijanja, a petlje su spojene na razdjelnik REHAU s mjerачem protoka koji se nalazi u ormariću na svakom katu. Dimenzioniranje cjevovoda za podno grijanje provodilo se uz ograničenja da maksimalni pad tlaka u petlji ne smije biti veći od 25 kPa i da petlja ne bi trebala biti duža od 120 m. Također, pri određivanju razmaka

između cijevi podnog grijanja pazilo se da temperatura poda ne prijeđe maksimalnu zadanu za tu namjenu prostorije. Odabrane su plastične cijevi REHAU RAUTHERM S F17x2, a smještaju se pomoću REHAU ploče Vario u pužnu petlju. U Tablici prikazane su dimenzije i pad tlaka podnog grijanja, pri čemu su oznake  $Q_n$  – projektni toplinski gubici prostorije [W],  $A$  – površina petlje podnog grijanja ( $m^2$ ),  $T$  – razmak između cijevi [mm],  $t_p$  – temperatura poda [ $^{\circ}C$ ],  $l$  – duljina cijevi u petlji [m],  $Q_i$  – instalirani učin [W],  $m$  – maseni protok kroz petlju [kg/h],  $w$  – brzina strujanja u petlji [m/s] i  $\Delta p$  – ukupni pad tlaka u petlji [kPa].

**Tablica 6. Rezultati proračuna dimenzioniranja ogrjevnih tijela**

Prizemlje										
Prostorija	REHAU-razdjeljivač s mjeračem protoka - prizemlje									
	Temperatura polazne vode		38.0	(°C)						
	Temperatura povratne vode		32.0	(°C)						
	Broj priključaka		10							
	Uk. površina petlji		89.4	(m²)						
	Uk. duljina cijevi		747.7	(m)						
	Potrebni učin		4208	(W)						
	Instalirani učin		5787	(W)						
	Uk. volumen medija		99.24	(l)						
	Uk. protok		983.50	(kg/h)						
	Uk. pad tlaka		27.01	(kPa)						
		Q <sub>n</sub> (W)	A (m²)	T (mm)	t <sub>p</sub> (°C)	l (m)	Q <sub>i</sub> (W)	m (kg/h)	w (m/s)	Δp (kPa)
	Dnevni boravak	1486	4.6	50	28.6	94.5	501	71.8	0.2	3.8
			8.0	100	27.5	91.8	842	120.7	0.3	8.8
			10.8	100	27.5	127.2	1171	167.7	0.4	21.6
9.1			100	27.5	99.2	912	130.7	0.3	10.9	
Hodnik 1 Spavaća soba	273	4.1	300	23.1	23.3	293	42.0	0.1	0.3	
	673	13.2	250	25.1	66.7	935	133.9	0.3	7.7	
Kupaonica	481	5.5	50	30.4	112.2	452	64.8	0.1	3.8	
Hodnik 2 Dječja soba 2 Dječja soba 1	242	4.1	300	23.1	25.0	305	43.7	0.1	0.3	
	482	9.3	250	25.1	62.8	818	117.2	0.2	5.7	
	430	9.5	300	24.5	45.0	635	91.0	0.2	2.7	
Kat 1										
	REHAU-razdjeljivač s mjeračem protoka – 1.kat									
	Temperatura polazne vode		38.0	(°C)						
	Temperatura povratne vode		32.0	(°C)						
	Broj priključaka		10							

Prostorija	Uk. površina petlji				90.8	(m <sup>2</sup> )			
	Uk. duljina cijevi				717.1	(m)			
	Potrebni učin				4141	(W)			
	Instalirani učin				6133	(W)			
	Uk. volumen medija				95.18	(l)			
	Uk. protok				986.70	(kg/h)			
	Uk. pad tlaka				19.15	(kPa)			
	Qn	A	T	tp	l	Qi	m	w	Δp
	(W)	(m <sup>2</sup> )	(mm)	(°C)	(m)	(W)	(kg/h)	(m/s)	(kPa)
	Dnevni boravak	1486	4.8	50	28.6	97.1	516	73.9	0.2
		8.1	100	27.5	92.3	847	121.3	0.3	8.9
		11.4	150	26.6	93.9	1085	155.4	0.3	14.0
		9.3	100	27.5	101.9	939	134.5	0.3	11.8
Spavaća soba	646	13.5	250	25.1	67.8	955	136.8	0.3	8.1
Kupaonica	439	4.8	50	30.4	100.5	406	58.2	0.1	1.7
Hodnik 1	271	4.1	300	23.1	23.6	296	42.4	0.1	0.3
Dječja soba 2	597	12.3	250	25.1	66.6	915	131.1	0.3	7.4
Dječja soba 1	430	9.5	300	24.5	44.6	631	90.4	0.2	2.6
Hodnik 2	98	2.7	150	25.4	28.7	298	42.7	0.1	0.4

**Kat 2**

Prostorija	REHAU-razdjeljivač s mjeracem protoka – 2. kat								
	Temperatura polazne vode				38.0	(°C)			
	Temperatura povratne vode				32.0	(°C)			
	Broj priključaka				10				
	Uk. površina petlji				92.0	(m²)			
	Uk. duljina cijevi				758.6	(m)			
	Potrebni učin				4730	(W)			
	Instalirani učin				5921	(W)			
	Uk. volumen medija				100.69	(l)			
	Uk. protok				1006.40	(kg/h)			
	Uk. pad tlaka				27.17	(kPa)			
		Qn (W)	A (m²)	T (mm)	tp (°C)	l (m)	Qi (W)	m (kg/h)	w (m/s)
Dnevni boravak	1486	4.7	50	28.6	95.9	508	72.8	0.2	3.9
		8.0	100	27.5	101.0	856	122.6	0.3	10.0
		10.8	100	27.5	127.2	1171	167.8	0.4	21.6
		9.3	100	27.5	101.6	936	134.1	0.3	11.7
Spavaća soba	736	13.8	250	25.1	68.9	971	139.1	0.3	8.5

<i>Kupaonica</i>	498	4.9	50	30.4	101.9	412	59.0	0.1	1.8
<i>Dječja soba 2</i>	677	12.6	250	25.1	68.3	939	134.5	0.3	7.9
<i>Hodnik 1</i>	299	4.4	300	23.1	24.4	313	44.9	0.1	0.3
<i>Dječja soba 1</i>	492	10.2	300	24.5	46.9	669	95.8	0.2	3.1
<i>Hodnik 2</i>	116	2.8	250	23.8	22.5	250	35.8	0.1	0.2

Iz rezultata je vidljivo da je u instalirani učin znatno veći od projektnih gubitaka prostorije. Uzrok tome je što se iste cijevi koriste za podno grijanje i podno hlađenje. Za dimenzioniranje cjevovoda za svaku prostoriju koristi se nepovoljniji režim. U prostorijama spavaćih soba, kupaonica i dječjih soba mjerodavan je režim grijanja, međutim u prostorijama dnevnih boravaka i hodnika na svakom katu, mjerodavan je režim hlađenja. Zbog toga je u dnevnim sobama na svakom katu instalirana snaga grijanja veća za 1,3 kW od potrebne, dok je za hodnike instalirana snaga veća za 0,25 kW.

## 4. SUSTAV HLAĐENJA

### 4.1. Projektno rashladno opterećenje

U svrhu dimenzioniranja sustava hlađenja, najprije je potrebno odrediti toplinske dobitke zgrade. Proračun projektnih toplinskih gubitaka vrši se prema normi VDI 2078 koja definira proračun potrebnog rashladnog učina za održavanje unutarnje projektne temperature hlađenih prostorija pri vanjskim projektnim uvjetima.

Ukoliko se pri proračunu rashladnog učina sustava hlađenja  $\Phi_R$  računa za postavljenu konstantnu vrijednost temperature hlađenog prostora  $\Theta_{LR}$  u svakom trenutku mora vrijediti:

$$\Phi_R = \Phi_I + \Phi_A \quad [\text{W}] \quad (3.1)$$

gdje je

$\Phi_R$  - potrební rashladni učin

$\Phi_I$  - unutrašnje rashladno opterećenje

$\Phi_A$  - vanjsko rashladno opterećenje

Unutarnje rashladno opterećenje  $\Phi_I$  sastoji se od parcijalnih rashladnih opterećenja uslijed predaje topline od osoba  $\Phi_P$ , predaje topline od rasvjete  $\Phi_B$ , topline od strojeva i uređaja  $\Phi_M$ , topline od prolaznog materijala kroz prostor  $\Phi_G$ , topline koja dolazi preko unutarnjih površina iz susjednih prostorija  $\Phi_R$  i ostalih izvora topline  $\Phi_C$ .

$$\Phi_I = \Phi_P + \Phi_B + \Phi_M + \Phi_G + \Phi_C + \Phi_R \quad [\text{W}] \quad (3.2)$$

Vanjsko projektno opterećenje  $\Phi_A$  sastoji se od toplinskog toka kroz zidove  $\Phi_W$ , toplinskog toka kroz prozore  $\Phi_T$ , solarnih dobitaka preko prozorskih površina  $\Phi_S$ , te toplinskih dobitaka zbog infiltracije zraka  $\Phi_{FL}$ .

$$\Phi_A = \Phi_W + \Phi_T + \Phi_S + \Phi_{FL} \quad [\text{W}] \quad (3.3)$$

Budući da su rashladna opterećenja u pravilu vremenski promjenjiva, iz navedenih izraza proizlazi rashladno opterećenje u svakom vremenskom trenutku  $t$ :

$$\Phi_R(t) = \Phi_I(t) + \Phi_A(t) \quad [\text{W}] \quad (3.4)$$

Maksimalna vrijednost predstavlja nominalni rashladni teret koji određuje snagu rashladnog uređaja:



$$\Phi_{R,nom} = \max \Phi_R(t) \quad [\text{W}] \quad (3.5)$$

Rashladno je opterećenje zgrade  $\Phi_R$  definirano kao maksimalni zbroj svih vremenski jednakih rashladnih opterećenja prostora, a ne kao zbroj maksimalnih rashladnih opterećenja prostora.  $\Phi_R$  određuje maksimalni potrebni učin za hlađenje zgrade.

$$\Phi_R = \max \sum \Phi_R(t) \quad [\text{W}] \quad (3.6)$$

Zbog kompleksnosti proračuna rashladnog učinka detaljniji postupak proračuna neće biti prikazan u ovome radu.

#### 4.2. Rezultati proračuna rashladnog opterećenja

Proračun projektnih rashladnih opterećenja proveden je u skladu sa smjernicom VDI 2078. Proračun je proveden uz pomoć software-a "IntegraCad 2012". Unutarnja projektna temperatura za hlađenje prostorije iznosi 25 °C. Hlađene prostorije u svakom od stanova su dnevni boravak, hodnici i spavaće sobe. Za dnevni boravak, uz vanjsko projektno opterećenje, u proračun su uzeti u obzir i dobici od osoba (4 osobe, lagani rad) te dobici od strojeva (10 W/m<sup>2</sup>). Faktor propusnosti prozora za sunčevo zračenje iznosi 0,35. U tablici 7 prikazani su rezultati proračuna rashladnog opterećenja.

**Tablica 7. Rezultati proračuna projektnih dobitaka po prostorijama**

<b>K1</b>	<b>Prizemlje</b>	
<b>P</b>	<b>Prostorija</b>	<b>Qn (W)</b>
<b>P1</b>	Dnevni boravak	1485
<b>P2</b>	Hodnik 1	129
<b>P5</b>	Spavaća soba	153
<b>P7</b>	Hodnik 2	142
<b>P8</b>	Dječja soba 2	83
<b>P9</b>	Dječja soba 1	276
	<b>Ukupno prizemlje:</b>	<b>2268</b>

<b>K2</b>	<b>Kat 1</b>	
<b>P</b>	<b>Prostorija</b>	<b>Qn (W)</b>
<b>P1</b>	Dnevni boravak	1421
<b>P2</b>	Spavaća soba	196
<b>P6</b>	Hodnik 1	124

<b>P7</b>	Dječja soba 2	99
<b>P8</b>	Dječja soba 1	37
<b>P9</b>	Hodnik 2	137
	<b>Ukupno Kat 1:</b>	<b>2014</b>

<b>K3</b>	<b>Kat 2</b>	
<b>P</b>	<b>Prostorija</b>	<b>Qn (W)</b>
<b>P1</b>	Dnevni boravak	1474
<b>P2</b>	Spavaća soba	205
<b>P6</b>	Dječja soba 2	133
<b>P7</b>	Hodnik 1	146
<b>P8</b>	Dječja soba 1	295
<b>P9</b>	Hodnik 2	123
	<b>Ukupno Kat 2:</b>	<b>2376</b>
	<b>Ukupno zgrada:</b>	<b>6658</b>

Za dimenzioniranje rashladnih tijela u prostorijama, koristi se toplinsko opterećenje prostorije izraženo u tablici 7. Budući da se ta opterećenja po prostorijama događaju u različitom vremenu, suma opterećenja svih prostorija nije mjerodavna veličina za dimenzioniranje sustava hlađenja. U tu svrhu potrebno je odrediti ukupno opterećenje u najnepovoljnijem trenutku. Iz tablice 8 vidljivo je da je najnepovoljniji trenutak, odnosno da se najveća potreba za hlađenjem pojavljuje 23. srpnja u 15 h. Vrijednost toplinskog opterećenja 6278 W usvaja se kao mjerodavna za dimenzioniranje sustava hlađenja.

**Tablica 8. Rashladna opterećenja prostorija u najnepovoljnijim danima**

<i>Prostorija</i>	<i>21. Lipanj</i>	<i>23. Srpanj</i>	<i>24. Kolovoz</i>	<i>22. Rujan</i>
<i>K1 Prizemlje \ Dnevni boravak</i>	957	1114	1134	1133
<i>K1 Prizemlje \ Hodnik</i>	120	128	120	108
<i>K1 Prizemlje \ Spavaća soba</i>	127	151	119	78
<i>K1 Prizemlje \ Hodnik</i>	127	141	122	103
<i>K1 Prizemlje \ Dječja soba 2</i>	61	81	53	20
<i>K1 Prizemlje \ 1 Dječja soba</i>	261	226	209	178
<i>K2 Kat 1 \ Dnevni boravak</i>	1204	1299	1301	1277
<i>K2 Kat 1 \ Spavaća soba</i>	153	189	152	102
<i>K2 Kat 1 \ Hodnik</i>	115	123	115	103
<i>K2 Kat 1 \ Dječja soba 2</i>	83	111	73	28
<i>K2 Kat 1 \ Dječja soba 1</i>	432	360	356	324
<i>K2 Kat 1 \ Hodnik</i>	132	137	133	127
<i>K3 Kat 2 \ Dnevni boravak</i>	1287	1373	1375	1349
<i>K3 Kat 2 \ Spavaća soba</i>	179	205	166	119

K3 Kat 2 \ Dječja soba 2	105	130	92	47
K3 Kat 2 \ Hodnik 1	138	144	136	124
K3 Kat 2 \ Dječja soba 1	280	243	226	194
K3 Kat 2 \ 2Hodnik	118	123	119	113
<b>Sat</b>	<b>16</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>
<b>Ukupno (W)</b>	<b>5879</b>	<b>6278</b>	<b>6001</b>	<b>5527</b>

#### 4.3. Dimenzioniranje rashladnih tijela

Budući da kroz istu petlju i cjevovode teče rashladna voda u režimu hlađenja i ogrjevnja voda u režimu grijanja, dimenzioniranje cjevovoda vrši se prema nepovoljnijem režimu. U prostorijama spavaća soba, kupaoonica i dječjih soba mjerodavan je režim grijanja, a u prostorijama dnevni boravak i hodnika, mjerodavan je režim hlađenja. Iz tog razloga je u spavaćim i dječjim sobama instalirani učin za hlađenje prostorije znatno viši od potrebnog, vidljivo u tablici 9, pri čemu su oznake  $Q_n$  – projektni toplinski dobici prostorije [W],  $A$  – površina petlje podnog grijanja ( $m^2$ ),  $T$  – razmak između cijevi [mm],  $t_p$  – temperatura poda [ $^{\circ}C$ ],  $l$  – duljina cijevi u petlji [m],  $Q_i$  – instalirani učin [W],  $m$  – maseni protok kroz petlju [kg/h],  $w$  – brzina strujanja u petlji [m/s] i  $\Delta p$  – ukupni pad tlaka u petlji [kPa].

**Tablica 9. Rezultati proračuna dimenzioniranja rashladnih tijela**

Prizemlje									
Prostorija	Temperatura polazne vode	14.0 ( $^{\circ}C$ )							
	Temperatura povratne vode	18.0 ( $^{\circ}C$ )							
	Broj priključaka	10							
	Ukupa površina petlji	89.4 ( $m^2$ )							
	Ukupna duljina cijevi	747.7 (m)							
	Potrebnii učin	2268 (W)							
	Ukupni instalirani učin	2554 (W)							
	Ukupni volumen medija	99.24 (l)							
	Ukupni protok	820.50 (kg/h)							
	Ukupni pad tlaka	16.40 (kPa)							
	<b><math>Q_n</math> (W)</b>	<b><math>A</math> (<math>m^2</math>)</b>	<b><math>T</math> (mm)</b>	<b><math>t_p</math> (<math>^{\circ}C</math>)</b>	<b><math>l</math> (m)</b>	<b><math>Q_{uk}</math> (W)</b>	<b><math>m</math> (kg/h)</b>	<b><math>w</math> (m/s)</b>	<b><math>\Delta p</math> (kPa)</b>
Dnevni boravak	1485	4.6	50	18.2	94.5	254	54.8	0.1	2.2
		8.0	100	18.9	91.8	448	96.5	0.2	6.8
		10.8	100	18.9	127.2	621	133.9	0.3	16.4
		9.1	100	18.9	99.2	485	104.6	0.2	8.4
Hodnik 1	129	4.1	300	21.4	23.3	152	32.8	0.1	0.3
Spavaća soba	153	13.2	250	20.9	66.7	549	118.3	0.2	7.0
Hodnik 2	142	4.1	300	21.4	25.0	157	34.0	0.1	0.4

Dječja soba 2	83	9.3	250	20.9	62.8	444	95.6	0.2	4.6
Dječja soba 1	276	9.5	300	21.4	45.0	358	77.2	0.2	1.5
<b>Kat 1</b>									
Temperatura polazne vode					14.0	(°C)			
Temperatura povratne vode					18.0	(°C)			
Broj priključaka					10				
Ukupa površina petlji					90.8	(m <sup>2</sup> )			
Ukupna duljina cijevi					717.1	(m)			
Potrebni učin					2014	(W)			
Instalirani učin					2591	(W)			
Ukupni volumen medija					95.18	(l)			
Ukupni protok					823.50	(kg/h)			
Ukupni pad tlaka					11.00	(kPa)			
<b>Prostorija</b>	<b>Qn (W)</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>T (mm)</b>	<b>tp (°C)</b>	<b>l (m)</b>	<b>Quk (W)</b>	<b>m (kg/h)</b>	<b>w (m/s)</b>	<b>Δp (kPa)</b>
Dnevni boravak	1421	4.8	50	18.2	97.1	261	56.3	0.1	2.4
		8.1	100	18.9	92.3	450	96.9	0.2	6.9
		11.4	150	19.6	93.9	588	126.7	0.3	11.0
		9.3	100	18.9	101.9	499	107.5	0.2	9.1
Spavaća soba	196	13.5	250	20.9	67.8	559	120.4	0.3	7.3
Hodnik 1	124	4.1	300	21.4	23.6	152	32.9	0.1	0.3
Dječja soba 2	99	12.3	250	20.9	66.6	506	109.1	0.2	6.1
Dječja soba 1	37	9.5	300	21.4	44.6	356	76.7	0.2	1.5
Hodnik 2	137	2.7	150	19.6	28.7	147	31.7	0.1	0.4
<b>Kat 2</b>									
Temperatura polazne vode					14.0	(°C)			
Temperatura povratne vode					18.0	(°C)			
Broj priključaka					10				
Ukupa površina petlji					92.0	(m <sup>2</sup> )			
Ukupna duljina cijevi					758.6	(m)			
Potrebni učin					2376	(W)			
Instalirani učin					2646	(W)			
Ukupni volumen medija					100.69	(l)			
Ukupni protok					837.40	(kg/h)			
Ukupni pad tlaka					16.40	(kPa)			
<b>P</b>	<b>Qn (W)</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>T (mm)</b>	<b>tp (°C)</b>	<b>l (m)</b>	<b>Quk (W)</b>	<b>m (kg/h)</b>	<b>w (m/s)</b>	<b>Δp (kPa)</b>

Dnevni boravak	1474	4.7	50	18.2	95.9	257	55.5	0.1	2.3
		8.0	100	18.9	101.0	452	97.4	0.2	7.6
		10.8	100	18.9	127.2	621	133.9	0.3	16.4
		9.3	100	18.9	101.6	497	107.1	0.2	9.0
Spavaća soba	205	13.8	250	20.9	68.9	568	122.3	0.3	7.6
Dječja soba 2	133	12.6	250	20.9	68.3	519	111.8	0.2	6.5
Hodnik 1	146	4.4	300	21.4	24.4	162	34.9	0.1	0.4
Dječja soba 1	295	10.2	300	21.4	46.9	376	81.0	0.2	1.6
Hodnik 2	123	2.8	250	20.9	22.5	126	27.3	0.1	0.3

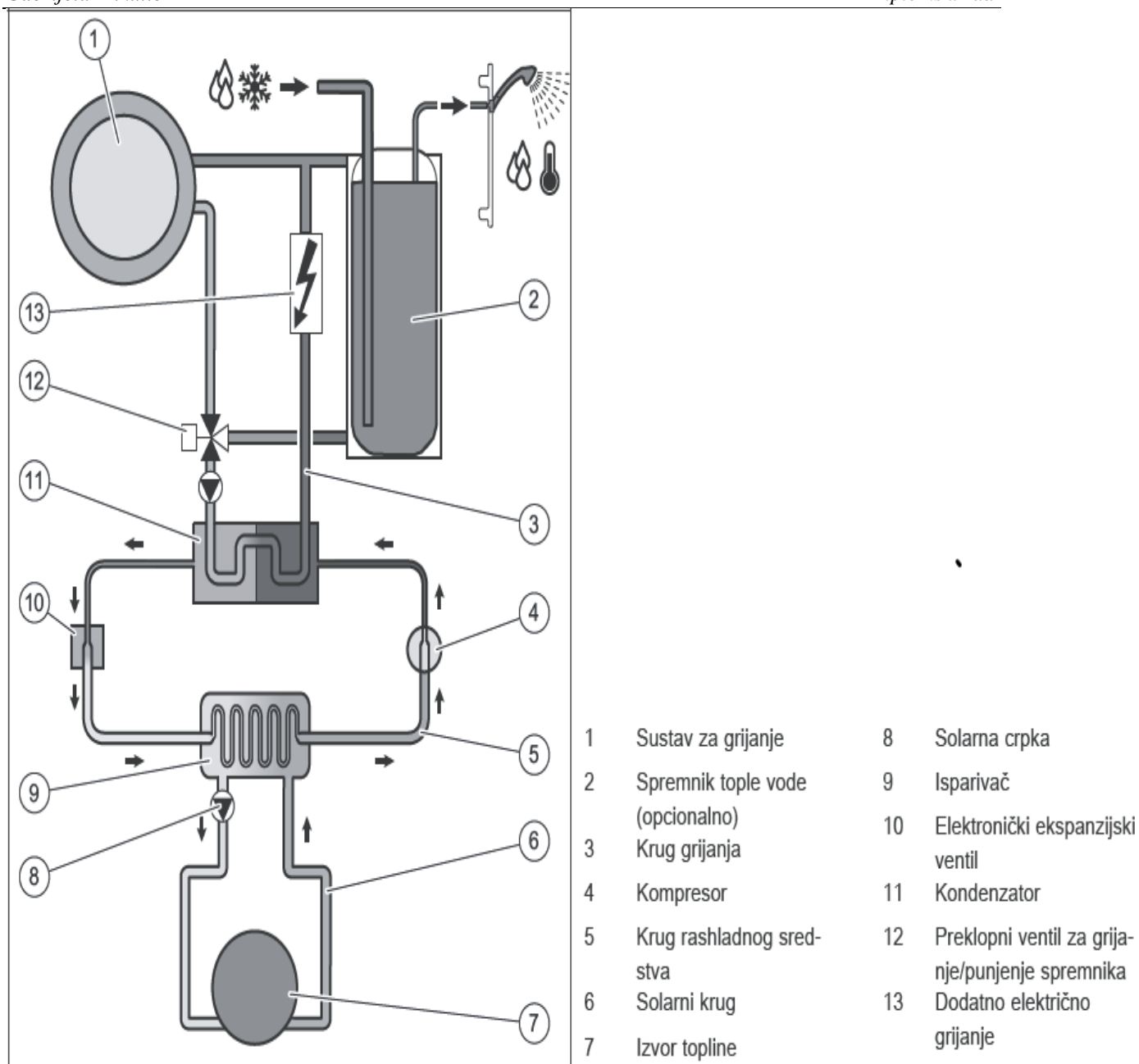
Budući da se ukupno veći protoci vode i veći padovi tlaka dobivaju u režimu grijanja, taj režim je mjerodavan za odabir pumpe.

## 5. ODABIR KOMPONENTI SUSTAVA GRIJANJA

Pri dimenzioniranju grijanja i hlađenja koriste se izračunato projektno ogrjevno i rashladno opterećenje. Izvor topline za grijanje i hlađenje je dizalica topline.

### 5.1. Dizalica topline

Projektno ogrjevno opterećenje iznosi 13 079 kW, dok rashladno opterećenje iznosi 6 kW. Iako dizalice topline služi i za zagrijavanje PTV-a kada solarno kolektorsko polje nije dovoljno za zagrijavanje potrošne tople vode na 60 °C, ogrjevnom učinku koji je mjerodavan za odabir dizalice topline nije potrebno dodati snagu za zagrijavanje PTV-a budući da dizalica topline toplu vodu šalje ili u sustav grijanja PTV-a ili u krug grijanja, ovisno o potrebi, gdje prvenstvo ima priprema PTV-a. Dizalica topline podiže temperaturu vode do 45 °C maksimalno, a daljnje zagrijavanje tople vode na 60 °C preuzima električni grijač snage 8 kW koji je integriran u dizalicu topline. Prema navedenome, izabrana dizalica topline je "FlexoTHERM exclusiv VWF 197/4" proizvođača Vaillant. Izabrana dizalica topline pri temperaturi polaza 45 °C (prema spremnicima PTV-a i ogrjevnog vode) ima ogrjevni učin 19,6 kW, uz faktor grijanja 3,7. Dizalica topline sastoji se od sljedećih odvojenih krugova, koji su međusobno povezani putem izmjenjivača topline: krug grijanja, isparivački krug i krug rasoline, prikazani na slici 17.



**Slika 17. Krugovi izmjene topline u dizalici topline [15]**

Na slici 18 prikazana je dizalica topline, a u tablici 9 dane su specifikacije dizalice topline.



Slika 18. Dizalica topline [16]

Tablica 10. Tehničke specifikacije dizalice topline [15]

	<b>Veličina</b>	<b>Vrijednost</b>
<i>Ogrjevni učinak/potrošnja el. energije/COP kod B0/W35 delta T 5 K</i>		19,7/4,7/4,2
<i>Ogrjevni učinak/potrošnja el. energije/COP kod B0/W45 delta T 5 K</i>		19,6/5,8/3,7
<i>Ogrjevni učinak/potrošnja el. energije/COP kod B0/W55 delta T 8 K</i>		20,0/6,6/3,2
<i>Rashladni učinak/potrošnja el. energije/ EER kod A35/W18 delta T 5 K (aktivno hlađenje)</i>		24,1/4,9/5.5
<i>Temperatura polaznog voda grijanja (min/max)</i>		25/65
<i>Rashladno sredstvo</i>		R410a
<i>Dimenzije (visina/širina/dubina) [mm]</i>		1183/595/600 mm
<i>Težina</i>		197 kg
<i>Priključak polaznog/povratnog voda grijanja</i>		G 1 1/2"
<i>Priključak polaznog/povratnog voda izvora topline</i>		G 1 1/2"
<i>Sadržaj rashladnog sredstva rashladnog kruga</i>		3.95 kg
<i>Maskimalni radni tlak rasoline</i>		3 bar
<i>Maskimalni radni tlak toplinskog kruga</i>		3 bar
<i>Tip rasoline</i>		Etilen-glikol 44% vol.



Budući da okućnica zgrade nije dovoljna za polaganje horizontalnog kolektorskog polja, predviđeni su vertikalni bušotinski izmjenjivači. Ukupna duljina vertikalnih bušotinskih izmjenjivača iznosi 300 m. Predviđene su 4 U-sonde dubine 75 m. Sonde je potrebno povezati na razdjelnik i sabirnik. Uz dizalicu topline dolazi Vaillant mjedeni razdjeljivač s priključcima za ukupno 4 cijevi. Na slici 19 prikazan je sabirnik i razdjelnik kruga rasoline, gdje su oznake:

A – Matica za priključak kuglaste slavine, stezne vijčane spojke ili daljnjeg modula

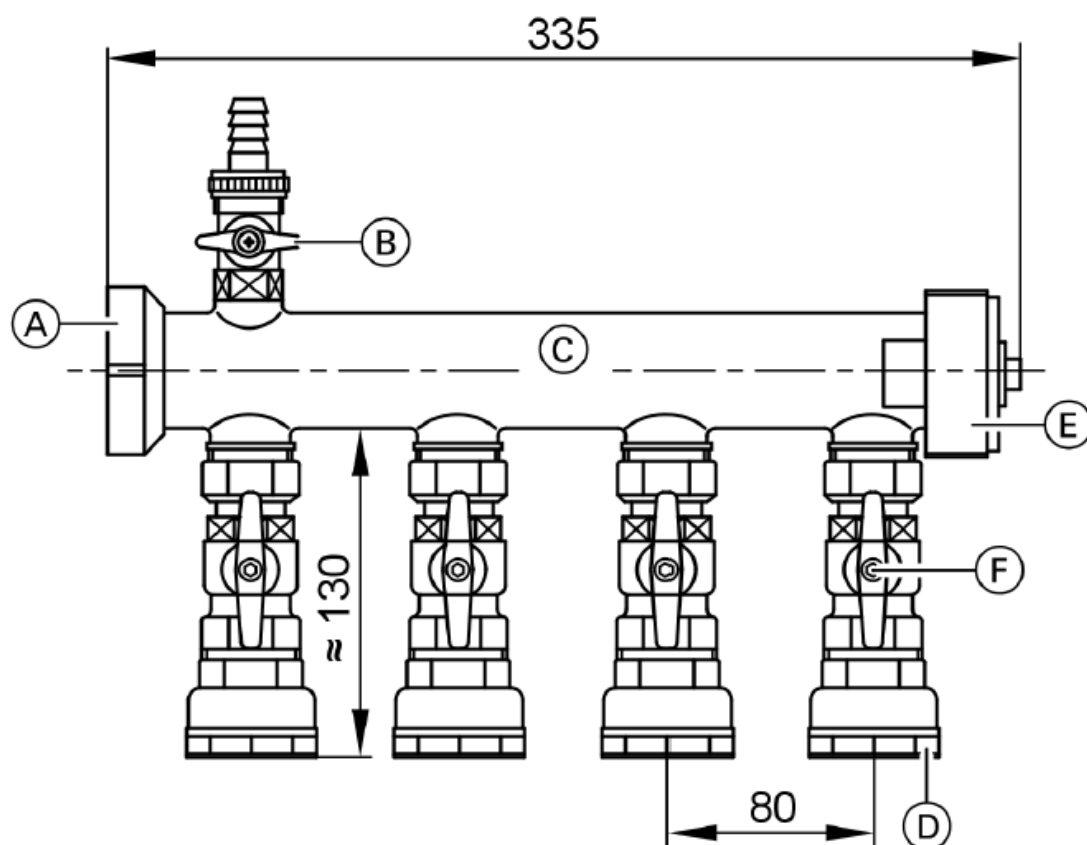
B – Kuglasta slavinica za punjenje i pražnjenje

C – Sabirna cijev

D – Vijčana spojka sa steznim prstenom za PE 32x2,9 mm ili PE 25x2,3 mm

E – Priključni komad

F – Kuglaste slavice za zatvaranje pojedinih krugova



Slika 19. Sabirnik/razdjelnik rasoline dizalice topline [16]

## 5.2. Međuspremnik ogrjevnog vode

Međuspremnik ogrjevnog vode u sustavima s dizalicom topline prvenstveno zbog akumuliranja toplinske energije što u konačnici rezultira smanjenjem učestalosti paljenja i gašenja kompresora. Također, akumulacijski spremnik omogućuje lakše pokrivanje vršnih opterećenja i pruža fleksibilniji rad pokrivanjem opterećenja u slučaju nepredviđenih zastoja u radu. Također, spremnik se toplom vodom može puniti i noću, kada je električna energija jeftinija u slučaju dvotarifnog obračuna.

Prema preporukama proizvođača, spremnik se dimensionira na temelju instaliranog ogrjevnog učina, na način da bi volumen spremnika trebao iznositi 20-30 l/kW. Odabran je međuspremnik "allSTOR exclusiv VPS 500/3-7", nazivnog volumena 491 l, proizvođača Vaillant. Karakteristike spremnika prikazane su u tablici 11, a spremnik je prikazan na slici 20.

**Tablica 11. Tehničke specifikacije međuspremnika ogrjevnog vode [17]**

<i>Međuspremnik</i>	
<i>Volumen</i>	491l
<i>Vanjski promjer(s izolacijom)</i>	930 mm
<i>Visina(s izolacijom)</i>	1813 mm
<i>Masa (prazan)</i>	90 kg
<i>Masa (pogonsko stanje)</i>	581 kg
<i>Maksimalni radni tlak</i>	3 bar
<i>Maksimalna temperatura ogrjevnog vode</i>	95°C
<i>Priključak polaznog/povratnog voda grijanja</i>	1 1/2"



**Slika 20. Međuspremnik ogrjevnog vode allSTOR exclusiv [17]**

## 6. PRORAČUN CJEVOVODA I ODABIR PUMPI SUSTAVA GRIJANJA I HLAĐENJA

Budući da u sustavu grijanja i hlađenja s dizalicom topline postoje krug grijanja, isparivački krug i krug rasoline, za svaki od tih krugova potrebno je dimenzionirati cjevovod i proračunati padove tlaka. Mjerodavni ogrjevnog učin za proračun iznosi 15 040 kW, a predstavlja projektni ogrjevnog učin uvećan za 15% zbog sigurnosti.

### 6.1. Proračun pada tlaka kruga rasoline

Ukupni volumen rasoline u U-sondama, razdjelniku i spojnim cijevima određen je kao:

$$V_{kl} = n \cdot 2 \cdot L_S \cdot V_S \cdot 2 + L_x \cdot V_S \quad [l] \quad (6.1)$$

gdje je

- $V_{kl}$  - volumen u U-sondama [l]
- $L_S$  - duljina sonde [m]
- $V_S$  - volumen cjevovoda po metru duljine [l/m]
- $L_x$  - duljina dovodnog cjevovoda [m]
- $n$  - broj sonde [-]

Za U-sonde predviđene su cijevi PE  $\Phi 32 \times 3,0$ , pa je ukupni volumen jednak:

$$V_{kl} = 4 \cdot 2 \cdot 75 \cdot 0,53 \cdot 2 + 30,71 \cdot 0,531 = 653 \text{ l}$$

Potrebnog protok rasoline određuje se prema izrazu

$$q_m = \frac{\phi_G}{\Delta \theta \cdot c_w} \frac{\text{kg}}{\text{sec}} \quad (6.2)$$

gdje je

- $q_m$  - maseni protok rasoline [kg/s]
- $\phi_G$  - projektno opterećenje [W]
- $\Delta \theta$  - temperaturna razlika rasoline [°C]
- $c_w$  - specifični toplinski kapacitet rasoline [J/kgK]

Protok rasoline određen je na temelju temperaturne razlike rasoline od 5 °C i ogrjevnog opterećenja zgrade (odnosno rashladnog učina na isparivaču rashladnog kruga dizalice topline). Ogrjevnog učin zgrade u iznosu od 13 079 kW, radi faktora sigurnosti uvećan je za 15% i iznosi 15 040 kW, te se prema tom korigiranom iznosu dimenzionira dizalica topline, cjevovodi i pumpe.

$$q_m = \frac{15040}{5 \cdot 4189} = 0,72 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$$

Na temelju izračunatog protoka rasoline, potrebno je provjeriti odgovara li pumpa za rasolinu koja je integrirana u dizalici topline. Preostala visina dobave iznosi 80 000 Pa u mjerodavnom temperaturnom režimu [15]. Pad tlaka kruga rasoline prikazan je u Tablici 12.

**Tablica 12. Proračun pada tlaka kruga rasoline**

	<i>Duljina</i>	<i>Qd</i>	<i>du</i>	<i>v</i>	<i>R</i>	<i>Rxl</i>	$\zeta$	<i>Z</i>	<i>ukupno</i>
	<b>m</b>	<b>m<sup>3</sup>/h</b>	<b>mm</b>	<b>m/s</b>	<b>Pa/m</b>	<b>Pa</b>	<b>-</b>	<b>Pa</b>	<b>Pa</b>
<i>Vertikalna bušotina</i>	300.00	2.56	30.00	1.02	52	15600	17.30	9150	24750
<i>Dovod</i>	30.71	2.56	30.00	1.02	769	23616	5.40	2856	26472
<b>Ukupni pad tlaka</b>									<b>51222</b>

Ukupni pad tlaka iznosi 51,2 kPa, što dovodi do zaključka da integrirana pumpa zadovoljava pad tlaka.

## 6.2. Proračun pada tlaka isparivčkog kruga

U dizalici topline ugrađena je i pumpa rashladnog kruga. Pumpu je također potrebno provjeriti prema protoku dobivenom prema (6.2). Najveća preostala visina dizanja pri nazivnom protoku međukruga iznosi 90 000 Pa [15]. U tablici su prikazani rezultati proračuna pada tlaka za rashladni krug.

**Tablica 13. Proračun pada tlaka isparivačkog kruga**

	<i>Duljina</i>	<i>Qd</i>	<i>du</i>	<i>v</i>	<i>R</i>	<i>Rxl</i>	$\zeta$	<i>Z</i>	<i>Ukupno</i>
	<b>l</b>	<b>m<sup>3</sup>/h</b>	<b>mm</b>	<b>m/s</b>	<b>Pa/m</b>	<b>Pa</b>	<b>-</b>	<b>Pa</b>	<b>Pa</b>
<i>Cjevovod</i>	4.00	2.56	30	1.02	140	560	14.60	7722	8282
<i>Pad tlaka na izmjenjivaču</i>									28000
<b>Ukupni pad tlaka:</b>									<b>36282</b>

Ukupni pad tlaka iznosi 36, 28 kPa, a preostala visina dizanja iznosi 90 kPa, što dovodi do zaključka da integrirana pumpa zadovoljava pad tlaka.

## 6.3. Proračun pada tlaka kruga grijanja

Krug grijanja može se podijeliti na primarni i na sekundarni krug. Primarni krug predstavlja cjevovod između dizalice topline i međuspremnik ogrjevnice vode i cjevovod između dizalice topline i spremnika PTV-a. Sekundarni krug predstavlja cjevovod između međuspremnik i podnog grijanja.

### 6.3.1. Primarni krug

Za cirkulaciju primarnog kruga, u dizalici topline je integrirana pumpa. Potrebno je provjeriti može li integrirana pumpa svladati hidrauličke otpore. Proračunavaju se zasebno dionice cjevovoda od dizalice topline do spremnika ogrjevnice vode i cjevovod od dizalice topline do spremnika PTV-a. Pumpa mora zadovoljiti hidrauličke otpore u cjevovodu za koji se dobije veći pad tlaka.

U tablici 14 prikazan je pad tlaka za dionicu od dizalice topline do međuspremnik, a u tablici 15 za dionicu od dizalice topline do spremnika PTV-a

**Tablica 14. Proračun pada tlaka od dizalice topline do međuspremnik ogrjevnice vode**

<i>Duljin a</i>	<i>Q</i>	<i>du</i>	<i>A</i>	<i>v</i>	<i>R</i>	<i>R<sub>xl</sub></i>	$\zeta$	<i>Z</i>	<i>Ukupno</i>
<i>l</i>	m <sup>3</sup> /h	mm	m <sup>2</sup>	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
4.00	1.57	39.00	0.00	0.37	120	480	32	2187	2668
<b>Ukupni pad tlaka</b>									<b>2668</b>

**Tablica 15. Proračun pada tlaka od dizalice topline do spremnika PTV-a**

<i>Duljina</i>	<i>Q</i>	<i>du</i>	<i>A</i>	<i>v</i>	<i>R</i>	<i>R<sub>xl</sub></i>	$\zeta$	<i>Z</i>	<i>Ukupno</i>
<i>l</i>	m <sup>3</sup> /h	mm	m <sup>2</sup>	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
6.00	1.57	39.00	0.00	0.37	120	720	29	1982.5	2703
<i>Pad tlaka na izmjenjivaču</i>									10500
<b>Ukupni pad tlaka</b>									<b>13203</b>

Mjerodavna dionica je od dizalice topline do spremnika PTV-a s ukupnim padom tlaka od 13,2 kPa. Najveća preostala visina dizanja iznosi 56 kPa, [15] što znači da pumpa zadovoljava.

### 6.3.2. Sekundarni krug

Za proračun pada tlaka sekundarnog kruga potrebno je uz vertikale u obzir uzeti i pad tlaka u dionici cjevovoda predviđenoj za pasivno hlađenje. Pri dimenzioniranju ogrjevnih tijela u software-u "IntegraCAD 2012" izračunat je i ukupni pad tlaka po petljama podnog grijanja za svaki stan te pad tlaka na razdjelniku. Uz pad tlaka u petljama potrebno je proračunati i padove tlaka u vertikalnim dionicima, te odrediti najnepovoljniji pad tlaka u sustavu, odnosno kritičnu dionicu i na temelju toga tlaka odabrati pumpu.

U tablici 16 prikazan je pad tlaka za svaki kat pojedinačno, a u tablici 17 prikazan je pad tlaka u vertikalnim dionicima.

**Tablica 16. Padovi tlaka u petljama podnog grijanja**

<i>Pad tlaka u petljama</i>	<i>Pad tlaka [kPa]</i>
<i>Pad tlaka kata prizemlja</i>	27.01 kPa
<i>Pad tlaka 1 kata</i>	19.15 kPa
<i>Pad tlaka 2. kata</i>	27.17 kPa

**Tablica 17. Padovi tlaka u vertikalnim dionicima podnog grijanja**

<i>Naziv vertikalne:</i>	<i>l</i>	<i>qm</i>	<i>d</i>	<i>v</i>	<i>Δp</i>
	<b>m</b>	<b>kg/h</b>	<b>mm</b>	<b>m/s</b>	<b>kPa</b>
<b>VI</b>	3.77	2976	39	0.70	1.08
<b>V2</b>	2.7	1970	39	0.46	0.36
<b>V3</b>	2.7	983	32	0.34	0.28
<b>Ukupni pad tlaka u vertikalama:</b>					<b>1.66</b>

U tablici 18 prikazan je pad tlaka u cjevovodu za pasivno hlađenje i pad tlaka na izmjenjivaču topline.

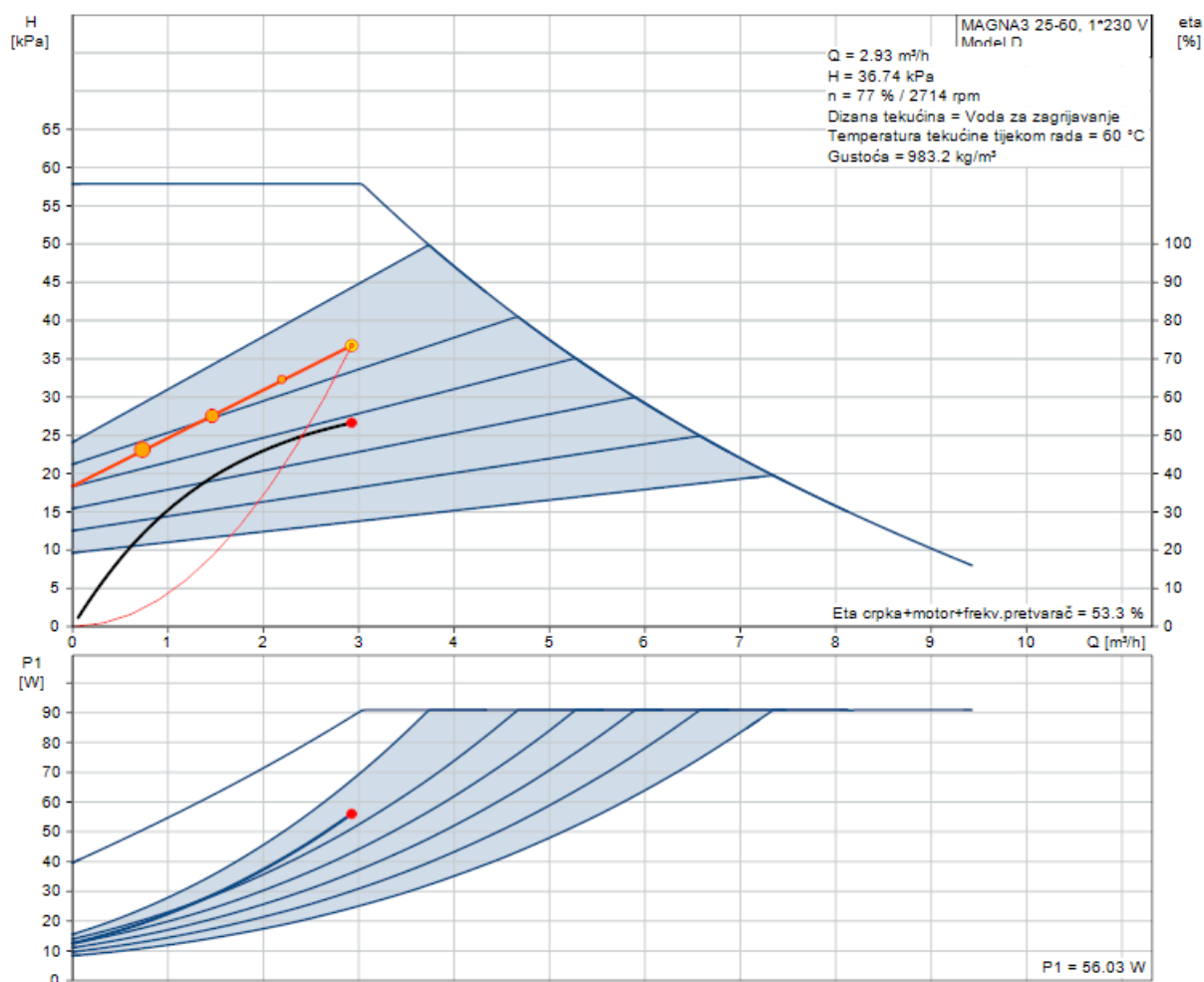
**Tablica 18. Pad tlaka u dionici pasivnog hlađenja**

<b>Duljina</b>	<b>Q</b>	<b>du</b>	<b>v</b>	<b>R</b>	<b>Rxl</b>	<b>ζ</b>	<b>Z</b>	<b>ukupno</b>
<b>l</b>	<b>m³/h</b>	<b>mm</b>	<b>m/s</b>	<b>Pa/m</b>	<b>Pa</b>	<b>-</b>	<b>Pa</b>	<b>Pa</b>
4.00	2.93	39.00	0.68	210	840	3	736.0	1576
Pad tlaka na izmjenjivaču								6900
<b>Ukupni pad tlaka</b>								<b>8056</b>

Mjerodavni pad tlaka je dobije se zbrojem pada tlaka na prvom katu, padova tlaka svih vertikalala i pada tlaka u dionici cjevovoda za pasivno hlađenje. Ukupni pad tlaka iznosi 36726 Pa i prikazan je u tablici 19.

<i>Dionica</i>	<i>Δp [Pa]</i>
<i>Pad tlaka u prizemlju</i>	27010
<i>Pad tlaka u vertikalama</i>	1660
<i>Pad tlaka u krugu pasivnog hlađenja</i>	8056
<b>Ukupni pad tlaka</b>	<b>36726</b>

Na temelju izračunatog pada tlaka i protoka 2,93 m³/h izabrana je pumpa Magna3-25-60 proizvođača Grundfos. Na slici 21 prikazan je dijagram rada pumpe i radna točka, a na slici 22 prikazana je odabrana pumpa.



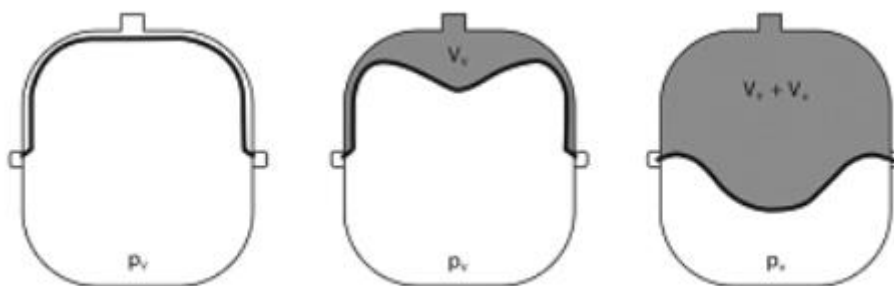
Slika 21. Dijagram pumpe Grundfos Magna3-25-60 [18]



Slika 22. Pumpa Grundfos Magna3-25-60 [18]

## 7. DIMENZIONIRANJE I ODABIR EKSPANZIJSKIH POSUDA SUSTVA GRIJANJA I HLAĐENJA

Ekspanzijska posuda služi za podešavanje minimalnog tlaka kao i za sprječavanje prekoračenja najvećeg dozvoljenog radnog pretlaka. Prilikom promjene temperature ogrjevnog/rashladnog medija dolazi do promjene volumena te se ekspanzijska posuda također koristi kako bi se ta promjena volumena kompenzirala. Ekspanzijska membranska posuda je zapravo posuda pod tlakom u kojoj stlačeni plin od ogrjevnog/rashladnog medija odvojen elastičnom membranom, prikazano na slici 23.



Slika 23. Ekspanzijska membranska posuda

Na ekspanzijsku posudu postavlja se sigurnosni ventil koji služi za zaštitu sustava u slučaju prekoračenja najvećeg dozvoljenog radnog tlaka. Odabran je sigurnosni ventil s nazivnim tlakom otvaranja 3 bar.

Minimalni volumen zatvorene ekspanzijske posude određen je izrazom:

$$V_{n,min} = (V_g + V_v) \cdot \frac{p_s + 1}{p_s - p_0} \quad [l] \quad (7.1)$$

pri čemu

$$V_g = V_{sus} \cdot \frac{n}{100} \quad [l] \quad (7.2)$$

gdje je

- $V_g$  - volumen širenja vode izazvan povišenjem temperature vode
- $V_v$  - dodatna količina vode uslijed oscilacija tlaka u sustavu (min 3 l)
- $p_s$  - krajnji tlak (točka otvaranja sigurnosnog ventila)
- $p_0$  - primarni tlak (punjenja)



---

n	-	postotak širenja vode prilikom zagrijavanja s 10°C na 75°C [%]
$V_{sus}$	-	volumen vode u sustavu [l]

Volumen sustava sekundarnog kruga i međuspremnika iznosi 840 l, pa je volumen širenja vode izazvan povišenjem temperature određen iz (7.2):

$$V_{\varepsilon} = V_{sus} \cdot \frac{n}{100} = 840 \cdot \frac{0,72}{100} = 6,048 \text{ l}$$

Minimalni potrebni volumen ekspanzijske posude određen je pomoću (7.1):

$$V_{n,min} = (V_{\varepsilon} + V_V) \cdot \frac{p_{\varepsilon}+1}{p_{\varepsilon}-p_0} = (6,05 + 3) \cdot \frac{2,5+1}{2,5-1} = 21,10 \text{ l}$$

Odabrana je ekspanzijska posuda proizvođača Elbi, volumena 24 l [19]. Prema preporuci proizvođača, dodana je još jedna posuda istog volumena radi sigurnosti.

## 8. DIMENZIONIRANJE I ODABIR KOMPONENTI SOLARNOG SUSTAVA

Za pripremu potrošne tople vode (PTV) u ovom radu predviđen je solarni sustav uz pomoć dizalice topline. Solarni sustav za pripremu PTV-a potrebno je pažljivo proračunati da bi se dobio optimiziran sustav i optimalna površina kolektora. Optimalna površina kolektora ovisna je o mnogim faktorima (dnevna potrebna energija za PTV, lokacija solarnog sustava, zadana temperatura PTV-a koja se želi postići kolektorima itd.), a u konačnici rezultira većom isplativošću sustava. Sustavi za pripremu PTV-a optimizirani su preko dva kriterija:

- da se u potpunosti pokriju energetske potrebe za pripremom PTV-a u srpnju i kolovozu,
- da se postigne minimalni period povrata investicije

Investicijski troškovi su procijenjeni temeljem prosječnih tržišnih cijena opreme različitih proizvođača i cijena kolektora prosječnih toplinskih karakteristika. [7]

### 8.1. Dimenzioniranje solarnih kolektora i spremnika PTV-a

Solarni sustav dimenzioniran je tako da u ljetnim mjesecima u potpunosti pokrije potrebu za PTV-om, prema Algoritmu za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama. [20] Energetska potreba za pripremu PTV-a, najvažnija je stavka pri dimenzioniranju solarnih sustava. Potrebna količina energija za zagrijavanje PTV-a prvenstveno ovisi o dnevnoj količini PTV-a koji je potrebno zagrijati na određenu temperaturu. Dnevna količina PTV-a najčešće se određuje prema broju potrošača PTV-a, ali i namjeni prostora za koji se PTV priprema. U postojećim sustavima dnevna potrošnja se određuje očitanjem brojila, dok se za objekte u izgradnji koriste preporučene iskustvene vrijednosti dnevne potrošnje. U tablici 19 prikazana je dnevna potrošnja tople vode po osobi ovisno o namjeni zgrade, kao i tražena temperatura polaza PTV-a prema potrošačima.

**Tablica 19. Dnevna potrošnja vode po osobi obzirom na namjenu objekta**

<i>Vrsta zgrade</i>	<i>Dnevna potrošnja PTV-a l/(osoba dan) i temperatura polazne vode</i>
<i>Stambena zgrada:</i>	60 °C:
- niska potrošnja	10 – 30

- srednja potrošnja	30 – 50
- visoka potrošnja	50 - 90
<i>Bolnica</i>	100 – 300 l, 60 °C
<i>Uredska zgrada</i>	10 – 40 l, 45 °C
<i>Hotel/motel</i>	100 – 200 l, 60 °C
<i>Škola</i>	5 – 15 l, 45 °C
<i>Sportski centar s tuševima</i>	50 – 70 l, 45 °C
<i>Dom umirovljenika</i>	30 – 70 l, 45 °C
<i>Vojarna</i>	30 – 50 l, 45 °C

Potrošnja PTV-a u ovom zadatku se modelira za 12 osoba s prosječnom dnevnom potrošnjom od 40 l, ukupno 480 l. Odabran je akumulacijski spremnik volumena 500 l.

Dnevna potrebna količina topline za zagrijavanje vode računa se pomoću izraza:

$$\Phi_W = V_p \cdot \rho_w \cdot c_w \cdot (\theta_s - \theta_{hw}) \quad [\text{W}] \quad (8.1)$$

gdje je

- $V_p$  - dnevna potrošnja PTV-a/dan l/dan
- $\rho_w$  - gustoća vode [kg/m<sup>3</sup>]
- $c_w$  - specifični toplinski kapacitet vode [kJ/kgK]
- $\theta_s$  - temperatura u spremniku [°C]
- $\theta_{hw}$  - temperatura dolazne hladne vode [°C]

$$\Phi_W = 500 \cdot 992 \cdot 4,17 \cdot (60 - 12) = 28 \text{ kWh/dan}$$

Solarni sustav dimenzioniran je na tako da u ljetnom periodu (srpanj i kolovoz) uspije zadovoljiti dnevnu potrebnu količinu topline za zagrijavanje PTV-a. Dimenzioniranje solarnog sustava odrađeno je prema Algoritmu za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama, koji se temelji na normi HRN EN 15316-4-3. Izabrani su vakuumski cijevni kolektori "auroTHERM exclusiv VTK 1140/2", proizvođača Vaillant, ukupno 6 kolektora. Kolektori su spojeni serijski, orijentirani prema jugu i postavljeni pod kutem 30 °C u odnosu na horizontalu. U tablici 20 prikazane su karakteristike solarnih kolektora.

**Tablica 20. Dnevna potrošnja vode po osobi obzirom na namjenu objekta**

Karakteristika	Veličina	
Broj vakuumskih cijevi	12	
Bruto površina	2.3	m
Površina otvora	2	m
Površina apsorbera	2	m
sadržaj kolekora	1.8	l
Težina	37	kg
Maksimalni dopušteni tlak	10	bar
Maksimalna temperatura mirovanja	272	°C
Širina	1392	mm
Visina	1652	mm
Dubina	11	mm

Za postavljanje solarnih kolektora na ravni krov koristi se Vaillant montažni pribor [10].

**Slika 24. Vaillant cijevni vakuumski kolektor na montažnom priboru za ravni krov**

U tablici 20 prikazani su rezultati proračuna solarnog sustava. Pri tome su korišteni sljedeći ulazni parametri:

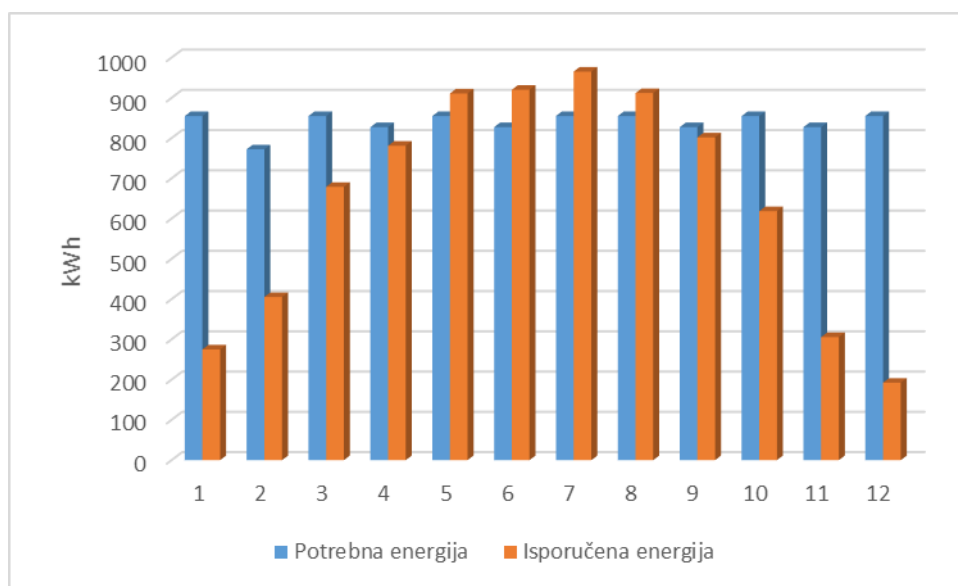
- $\Phi_W$  - dnevna potrebna toplina za zagrijavanje PTV-a, 26 kWh/dan
- $\theta_s$  - temperatura u spremniku: 60 °C
- $\theta_{hw}$  - temperatura hladne vode: 10 °C
- $\eta_o$  - Stupanj djelovanja kolektora, 0,8
- $a_1$  - koeficijent prvog reda: 1,8 W/( m<sup>2</sup>K<sup>2</sup>)
- $a_2$  - koeficijent drugog reda: 0 W/( m<sup>2</sup>K<sup>2</sup>)
- $t_{aux}$  - ukupno godišnje vrijeme rada pumpe: 2000h/godišnje

**Tablica 21. Rezultati proračuna solarnog sustava**

mjesec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
broj dana	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
$\theta_{avg}$ [°C]	1	2.9	7.1	11.7	16.8	20.3	21.9	21.3	16.3	11.4	6.5	1.4
$H_{s,g,ic}$ [kWh/mj]	160	230	404	487	596	613	647	589	499	355	171	118

$I_m [W/m^2]$	59.7	95.1	150.8	187.9	222.5	236.5	241.6	219.9	192.5	132.5	66.0	44.1
$E_{sol}$	44.4	63.9	112.2	135.3	165.6	170.3	179.7	163.6	138.6	98.6	47.5	32.8
$Q_{w,sol,us,m} [kWh]$	855	772	855	827	855	827	855	855	827	855	827	855
$\theta_{ref} [^\circ C]$	96.1	93.6	88.0	82.0	75.2	70.6	68.5	69.3	75.9	82.4	88.8	95.6
$\Delta T [^\circ C]$	95.1	90.7	80.9	70.3	58.4	50.3	46.6	48.0	59.6	71.0	82.3	94.2
$X_w [-]$	1.3	1.2	1.1	1.0	0.8	0.7	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3
$Y_w [-]$	0.4	0.7	1.1	1.4	1.6	1.7	1.8	1.6	1.4	1.0	0.5	0.3
$Q_{w,sol,out,m} [kWh]$	275	405	679	781	911	920	965	912	802	619	306	192
$f_{sol,m} [-]$	0.32	0.52	0.79	0.94	1.07	1.11	1.13	1.07	0.97	0.72	0.37	0.23
$t_{aux} [h]$	65.7	94.5	165.9	200.0	244.8	251.8	265.8	241.9	205.0	145.8	70.2	48.5
$W_{col,aux,m} [kWh]$	3.2	4.6	8.1	9.8	12.0	12.3	13.0	11.9	10.0	7.1	3.4	2.4

Iz rezultata je vidljivo da 6 odabranih solarnih kolektora pokrivaju potrebnu količinu energija za grijanje PTV-a od svibnja do kolovoza. Solarni kolektori pokrivaju 77 % ukupne potrebne energije za zagrijavanje PTV-a na godišnjoj razini. Na slici 25 prikazan je odnos potrebne i isporučene topline za PTV po mjesecima.



**Slika 25. Odnos potrebne i isporučene energije za PTV po mjesecima**

Solarni sustav zagrijava spremnik od 500 l, a nakon spremnika voda struji u drugi spremnik, također od 500 l, nakon kojega struji prema potrošačima. U drugom spremniku, dizalica topline dogrijava vodu na 60 °C u danima kada solarni kolektor ne može isporučiti traženu dnevnu količinu energije. Odabrani spremnici su DUOSTAR 500 R1, proizvođača HORVATIĆ [21], prikazani na slici 26.

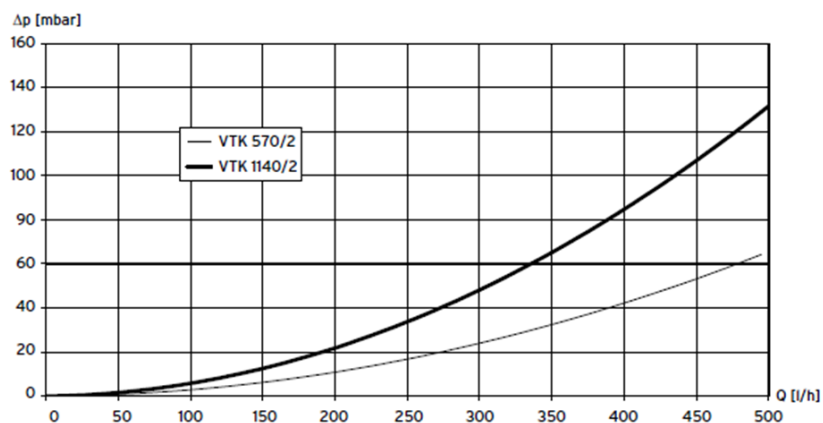


Slika 26. Akumulacijski spremnik PTV-a

## 8.2. Proračun cjevovoda i odabir pumpe

Za optimalnu predaju topline u solarnom sustavu, potrebno je dimenzionirati protok solarne tekućine. Originalna solarna tekućina proizvođača Vaillant sastoji se smjese glikola (40%) i vode (60%). Za male kolektorske sustave proizvođač preporučuje protok od  $40\text{l/m}^2\text{h}$ , tzv. "High-flow" protok. Brzina solarne tekućine trebala bi se kretati oko  $0,4\text{ m/s}$  jer se pri toj brzini mali mjehurići zraka relativno lagano transportiraju do odzračnog mjesta koje se nalazi u najvišoj točki sustava. Brzina tekućine u cjevovodu ne bi trebala prelaziti  $0,6\text{ m/s}$  kako bi se spriječio veliki pad tlaka što rezultira većom potrošnjom električne energije za pogon solarne crpke. [10]

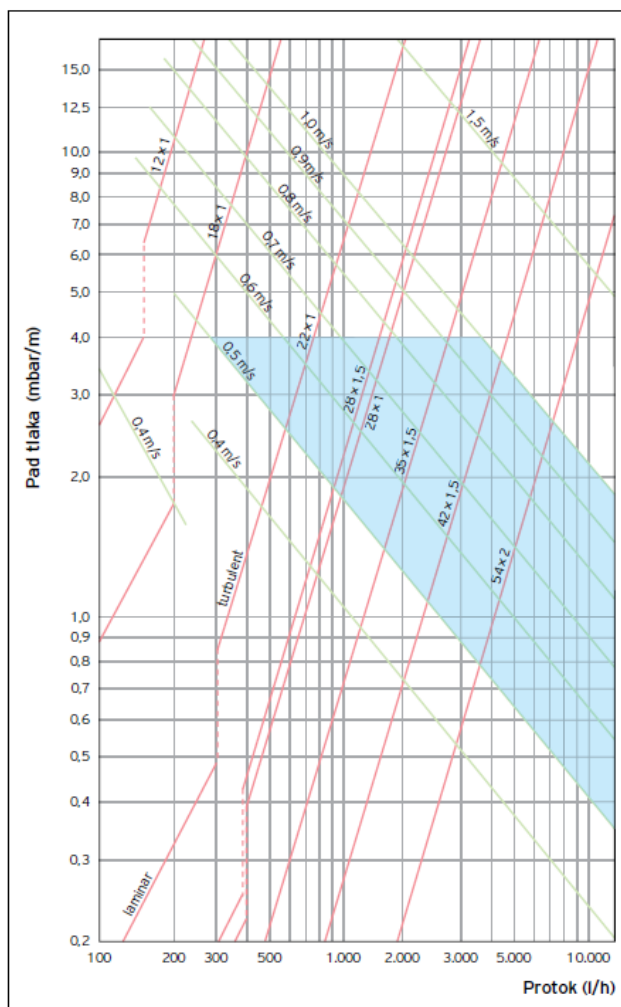
Odabran je preporučeni protok od  $40\text{ l/m}^2\text{h}$ , šta za  $12\text{ m}^2$  kolektorske površine daje protok od  $480\text{ l/h}$ . Na slici 27 prikazan je pad tlaka u kolektorskom polju ovisno o broju kolektora i izabranoj vrsti kolektora, a na slici 28 prikazan je pad tlaka u bakrenom cjevovodu.



X - broj kolektora

Y - pad tlaka

**Slika 27. Pad tlaka u kolektorima**



Pad tlaka u bakrenom cjevovodu pri 50°C

(Vaillant-ova solarna tekućina)

**Slika 28. Pad tlaka u bakrenim cijevima**

Pad tlaka na izmjenjivaču solarnog bojlera iznosi 78 Pa. Na temelju spomenutih vrijednosti izračunat je ukupni pad tlaka solarnog sustava, a prikazan je u tablici 22.

**Tablica 22. Rezultati proračuna solarnog sustava**

<i>Duljina</i>	<i>qv</i>	<i>du</i>	<i>v</i>	<i>R</i>	<i>Rxl</i>	<i>Z</i>	<i>Ukupno</i>
<i>m</i>	<i>l/h</i>	<i>mm</i>	<i>m/s</i>	<i>Pa/m</i>	<i>Pa</i>	<i>[Pa]</i>	<i>Pa</i>
12.34	480	20	0.42	180	2221.2	882	3103.2
<i>Pad tlaka na kolektorima</i>							13000
<i>Pad tlaka u izmjenjivaču spremnika PTV-a</i>							5400
<b><i>Ukupni pad tlaka</i></b>							<b>21503.2</b>

Visina dobave pumpe iznosi 2,26 m. Odabrana je dvocjevna pumpna stanica "S2 Solar 3" proizvođača Regulus, koja u sebi sadrži navedene elementa: [22]

- solarna cirkulcijska pumpa 'Wilo ST 25/6 2-12 l/min'
- Manometar, 2 termometra za polazni i povratni vod
- Sigurnosni ventil 6 bar
- Ventile za punjenje i pražnjenje
- Zaporni ventil i nepovratni ventil
- Separator zraka
- Mjerač protoka sa kontrolom protoka
- Izlaz za priključak ekspanzijske posude

### 8.3. Odabir ekspanzijske posude solarnog kruga

Minimalni volumen zatvorene ekspanzijske posude određen je izrazom:

$$V_{n,min} = (\Delta V + V_D + V_V) \cdot \frac{p_s + 1}{p_s - p_0} \quad [l] \quad (7.1)$$

gdje je

- $\Delta V$  - promjena volumena smjese s promjenom temperature [l]
- $V_D$  - volumen preuzetog pare iz kolektora [l]
- $V_V$  - dodatna količina vode uslijed oscilacija tlaka u sustavu (min. 3 l) [l]
- $p_s$  - krajnji tlak [bar]
- $p_0$  - primarni tlak (punjenja) [bar]

$$V_{n,min} = (8,74 + 10,8 + 3) \cdot \frac{5,4 + 1}{5,4 - 1,1} = 33,5 \text{ l}$$



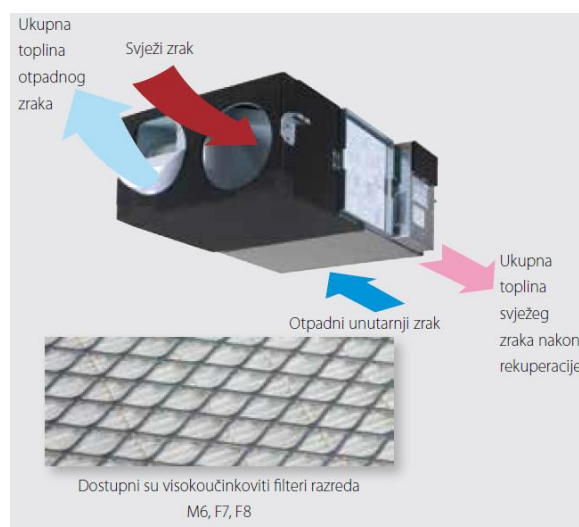
Odabrana je ekspanzijska posuda proizvođača "Elbi" volumena 40 l. Ekspanzijske posude proizvođača Elbi prikazane su na slici 29.



**Slika 29. Ekspanzijske posude proizvođača Elbi [19]**

## 9. DIMENZIONIRANJE I ODABIR KOMPONENTI SUSTAVA MEHANIČKE VENTILACIJE

U svrhu održavanja kvalitete zraka u zgradi, radi male infiltracije, predviđena je sustav mehaničke ventilacije s centralnom pripremom zraka. Zrak se priprema na krovu, u ventilacijskoj jedinici s rekuperatorom topline iz istrošenog zraka, odakle se spiro cijevima razvodi po stanu. Odabrana ventilacijska jedinica je VAM-800 FC [13], prikazana na slici 30.



Slika 30. Ventilacijska jedinica VAM-800 FC [13]

Dobava vanjskog zraka iznosi  $750 \text{ m}^3/\text{h}$ , a raspored dobave i odsisa prikazan je u tablici 23. Dobavni zrak dovodi se u dnevne boravke, spavaće i dječje sobe, a povratni zrak se odsisava iz kupanica, WC-a i ulaznog dijela dnevnog boravka

Tablica 23. Raspodjela dobavnog i odsisnog zraka

Prostorija	Dobava $\text{m}^3/\text{h}$	Odsis $\text{m}^3/\text{h}$
Dnevni boravak	100	50
Dječja soba 1	50	0
Dječja soba 2	50	0
Spavaća doba	50	0
WC	0	100
Kupatilo	0	100
<b>Ukupno</b>	<b>250</b>	<b>250</b>

Budući da je sustav mehaničke ventilacije predviđen s malim protocima, odabrani su kanali kružnog poprečnog presjeka (spiro kanali). Proračun pada tlaka, protoci i dimenzije cijevi za kritičnu dionicu dobavnog i povratnog kanala prikazan je u tablicama 24 i 25.

Tablica 24. Pad tlaka u dobavnom kanalu

<i>Dionica</i>	<i>l</i>	<i>Vh</i>	<i>d</i>	<i>v</i>	<i>R</i>	<i>Rxl</i>	$\zeta$	<i>Pdin</i>	<i>Z</i>	<i>Ukupno</i>
	<b>m</b>	<b>m<sup>3</sup>/h</b>	<b>mm</b>	<b>m/s</b>	<b>Pa/m</b>	<b>Pa</b>	<b>-</b>	<b>Pa</b>	<b>Pa</b>	<b>Pa</b>
1	2.95	750	223.8	5.30	1.4	4.13	2.05	16.9	34.7	38.8
10	3.3	500	178.8	5.53	1.8	5.94	1.3	18.4	24.0	29.9
19	3.3	250	148.8	4.00	1.2	3.96	1.3	9.6	12.5	16.5
20	11.27	100	98.8	3.63	2.5	28.18	1.1	7.9	8.7	36.9
22	3.44	50	78.8	2.85	5	17.20	1.35	4.9	6.6	23.8
<i>Pad tlaka na istrujnoj rešetci</i>										20
<b><i>Ukupni pad tlaka</i></b>										<b>166</b>

Tablica 25. Pad tlaka u dobavnom kanalu

<i>Dionica</i>	<i>l</i>	<i>Vh</i>	<i>d</i>	<i>v</i>	<i>R</i>	<i>Rxl</i>	$\zeta$	<i>Pdin</i>	<i>Z</i>	<i>Ukupno</i>
	<b>m</b>	<b>m<sup>3</sup>/h</b>	<b>mm</b>	<b>m/s</b>	<b>Pa/m</b>	<b>Pa</b>	<b>-</b>	<b>Pa</b>	<b>Pa</b>	<b>Pa</b>
1	2.95	750	223.8	5.30	1.4	4.13	1.65	16.9	27.9	32.0
7	3	500	178.8	5.53	1.8	5.40	0.9	18.4	16.6	22.0
13	5.5	250	148.8	4.00	1.2	6.60	2.4	9.6	23.1	29.7
15	0.24	150	123.8	3.46	1.2	0.29	0.9	7.2	6.5	6.8
<i>Pad tlaka na zračnom ventilu</i>										20
<b><i>Ukupni pad tlaka</i></b>										<b>110.5</b>

Također, u tablicama 26 i 27 prikazani su padovi tlaka u kanalima svježeg vanjskog zraka i istrošenog zraka.

Tablica 26. Pad tlaka u kanalu svježeg vanjskog zraka

<i>Dionica</i>	<i>l</i>	<i>Vh</i>	<i>d</i>	<i>v</i>	<i>R</i>	<i>Rxl</i>	$\zeta$	<i>Pdin</i>	<i>Z</i>	<i>Ukupno</i>
	<b>m</b>	<b>m<sup>3</sup>/h</b>	<b>mm</b>	<b>m/s</b>	<b>Pa/m</b>	<b>Pa</b>	<b>-</b>	<b>Pa</b>	<b>Pa</b>	<b>Pa</b>
2.1	1.61	750	250	4.246285	0.8	1.288	0.4	2.556476	1.02259	2.3
<i>Pad tlaka na usisnoj rešetci</i>										28
<b><i>Ukupni pad tlaka</i></b>										<b>30.3</b>

Tablica 27. Pad tlaka u kanalu svježeg vanjskog zraka

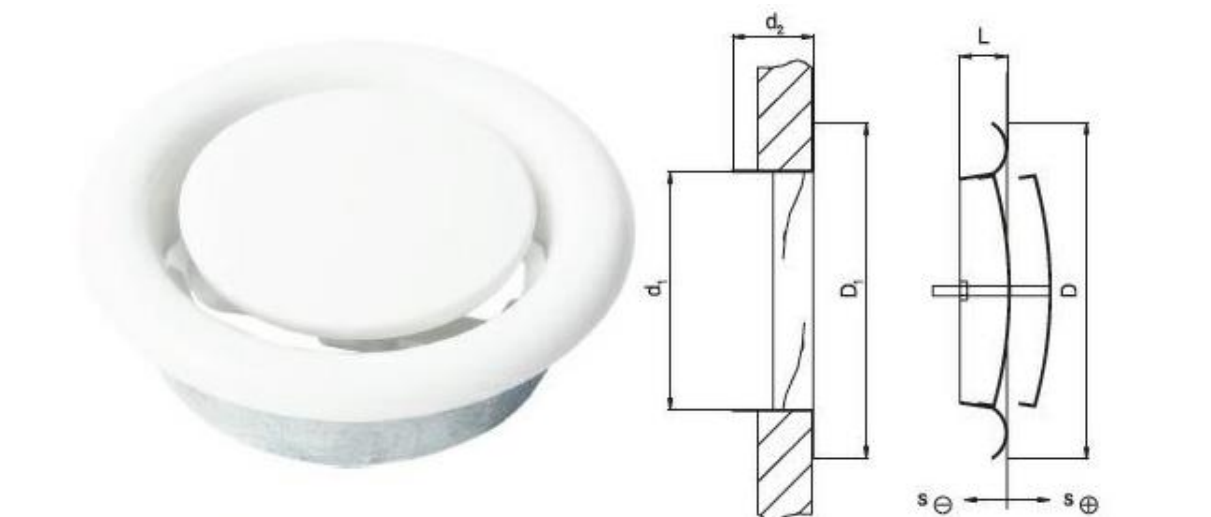
<i>Dionica</i>	<i>l</i>	<i>Vh</i>	<i>d</i>	<i>v</i>	<i>R</i>	<i>Rxl</i>	$\zeta$	<i>Pdin</i>	<i>Z</i>	<i>Ukupno</i>
	<b>m</b>	<b>m<sup>3</sup>/h</b>	<b>mm</b>	<b>m/s</b>	<b>Pa/m</b>	<b>Pa</b>	<b>-</b>	<b>Pa</b>	<b>Pa</b>	<b>Pa</b>
2.2	6.6	750	250	4.25	0.8	5.28	1.35	2.6	3.5	8.7
<i>Pad tlaka na istrujnoj rešetci</i>										35.0
<b><i>Ukupni pad tlaka</i></b>										<b>44</b>

Na kanale vanjskog i istrošenog zraka postavljene su fasadne protukišne rešetke. Padovi tlaka na rešetkama i odabir rešetki odrađeni su uz pomoć software-a "Aura" proizvođača Klimaoprema. [23]

Odabrane su istrujne rešetke za kanal dobave "OAV 2" dimenzija 225x75. Na odsisni kanal postavljaju se zračni ventili ZOV 100. Na slici 31 prikazana je istrujna rešetka "OAV 2", a na slici 32 prikazan je zračni ventil "ZOV".



**Slika 31. Istrujna rešetka "OAV-2" proizvođača Klimaoprema [24]**



**Slika 32. Zračni ventil "ZOV 100" proizvođača Klimaoprema [24]**

Sustav rekuperacije odabranog ventilacijskog uređaja iznosi 78%. Izračunata temperatura vanjskog zraka iznosi 12,74 °C, pri projektnoj vanjskoj temperaturi od -13 °C. Da bi se spriječilo ubacivanje zraka od 12 °C u prostorije grijane na 20 °C, u ventilacijski uređaj se ugrađuje električni grijač zraka VH 4B snage 1,5 kW.

## 10. TEHIČKI OPIS

Projekt grijanja izveden je za stambenu zgradu na području Grada Zagreba prema zadanoj arhitektonskoj podlozi. Zgrada se sastoji od tri etaže (prizemlje, 1. kat i 2. kat), ukupne površine 411 m<sup>2</sup>, dok je površina grijanog prostora 360 m<sup>2</sup>. Svaka etaža u zgradi predstavlja jedan stan.

### 10.1. Grijanje i hlađenje

Sustav grijanja zgrade predviđen je kao centralni toplovodni s prisilnom cirkulacijom i površinskim grijanjem temperaturnog režima 38/32 °C. Izvor topline u sustavu grijanje je dizalica topline tlo/voda "FlexoTHERM VWF 197/4" proizvođača Vaillant koja pri temperaturi 55 °C polaza prema međuspremniku ogrjevnog vode i temperaturnoj razlici od 5 °C ima toplinski učin 19,7 uz faktor grijanja 3,4. Radna tvar u dizalici topline je R410a. Dizalica topline opremljena je pumpom za cirkulaciju rasoline (smjesa 66% voda i 33 % ekološki prihvatljiv propilen – glikol) kroz vertikalne bušotinske izmjenjivače topline (U-sonde) i cirkulacijskom pumpom za ogrjevnu vodu. Izvedene su četiri U-sonde PE cijevi dimenzija 32x2,9, duljine 95 m, ukupne duljine 380 m. Vertikalne bušotine međusobno su udaljene 6 m. Cijevi su spojene na razdjelnik i sabirnik Vaillant. Set namijenjen za dizalice topline tlo/voda je izrađen je od polimernog materijala i ima priključke za 5 petlji. Set je smješten u vanjski betonski šaht. Prema preporuci proizvođača i sukladno smjernicama norme HR EN 15420 u primarni krug grijanja, uz dizalicu topline, smješten je i međuspremnik topline "VPS 500" volumena 491 l proizvođača Vaillant. Zadatak međuspremnika je akumulirati toplinu i na taj način olakšati rad dizalice topline i smanjiti učestalost pokretanja dizalice topline. Također, međuspremnik omogućuje pokrivanje vršnih opterećenja. Preporuka proizvođača je da se spremnik puni noću kada je jeftinija električna energija. U primarnom krugu nalazi se i ekspanzijska posuda proizvođača Elbi volumena 18 l. Zadatak ekspanzijske posude je održavati tlak u sustavu i kompenzirati promjenu volumena ogrjevnog medija uslijed promjene temperature. Zbog sigurnosne preporuke proizvođača, dodana je još jedna ekspanzijska posuda od 18 l u sekundarni krug. Svrha sigurnosnih ventila tlaka otvaranja 3 bara je spriječiti prekoračenje maksimalnog dozvoljenog tlaka u sustavu. Sekundarni krug čine ogrjevna tijela (cijevi podnog grijanja), razdjelnik i sabirnik cijevi, cijevni razvod od međuspremnika do ogrjevnih tijela s pripadajućom armaturom i cirkulacijska pumpa. Na

temelju protoka ogrjevnog vode i padova tlaka u sekundarnom krugu grijanja, odabrana je cirkulacijska pumpa "Magna3 25-60" proizvođača Grundfos s ugrađenom frekventnom regulacijom. Frekventna regulacija može prilagođavati rad pumpe promjeni opterećenja sustava i na taj se način postiže značajna ušteda električne energije za pogon pumpe u odnosu na pumpu bez frekventne regulacije. Predviđen je sustav podnog grijanja u svakome stanu zgrade. U svakom stanu nalazi se 10 petlji podnog grijanja, spojenih na razdjelnik s 10 priključaka proizvođača REHAU. Razdjelnici su smješteni u svaki stan u razdjelne ormariće UNI 900 proizvođača ThermoTechnik. Svaki razdjelnik ima ugrađen diferencijalni regulator tlaka kako bi se protok ogrjevnog vode pravilno distribuirao u predviđenom omjeru i time ostvarila pravilna raspodjela topline. Pomoću diferencijalnog regulatora tlaka moguće je svaku dionicu hidraulički uravnotežiti održavajući diferencijalni tlak u dionici na željenoj vrijednosti. Odabrane su plastične cijevi REHAU RAUTHERM S 17x2, a smještaju se u REHAU ploču Vario u pužnu petlju. Ukupni projektni gubici topline iznose 13 079 kW, a instalirana snaga grijanja iznosi 17 503 kW. Uzrok tome je što se iste cijevi koriste za podno grijanje i podno hlađenje. Za dimenzioniranje cjevovoda za svaku prostoriju koristi se nepovoljniji režim. U prostorijama spavaćih soba, kupaoonica i dječjih soba mjerodavan je režim grijanja, međutim u prostorijama dnevnog boravka i dva hodnika, mjerodavan je režim hlađenja. Zbog toga je u dnevnim sobama na svakom katu instalirana snaga grijanja veća za 1,3 kW od potrebne, dok je za hodnike instalirana snaga veća za 0,25 kW. Izvor topline za sustav hlađenja je također dizalica topline, a temperaturni režim vode za hlađenje iznosi 14/18 °C. Budući da je u režimu hlađenja manja temperaturna razlika polazne i povratne vode, posljedica je znatno veći potrebni protok u režimu hlađenja i duljina cjevovoda. To je najbolje vidljivo u prostoriji dnevnog boravka, kojoj treba podjednaki učin za grijanje i hlađenje, međutim ukoliko se cjevovod podnog grijanja i hlađenja instalira prema režimu hlađenja, dobiva se predimenzioniran cjevovod u režimu grijanja. Na ukupnoj razini zgrade, malo veće protoke i padove tlaka daje režim grijanja, pa je taj režim mjerodavan za dimenzioniranje pumpe. Ukupno projektno rashladno opterećenje iznosi 6 278 W, a instalirani rashladni učin je 7 791 kW. Dizalica topline može raditi u režimu aktivnog i pasivnog hlađenja. U pasivnom režimu hlađenja, rasolina dizalice topline ide direktno u izmjenjivač topline u kojemu hladi vodu podnog hlađenja, koja potom kruži prostorijama. U slučaju kada pasivno hlađenje nije dovoljno da bi se ostvarilo projektno rashladno opterećenje koristi se aktivno hlađenje. U aktivnom hlađenju tok vode za podno hlađenje isti je kao kod podnog grijanja. U prilogu je dana shema rada sustava.

## 10.2. Potrošna topla voda

U svrhu zagrijavanje potrošne tople vode koristi se dva akumulacijska spremnika. Odabrani spremnici su DUOSTAR R1 volumena 500 l. Pretpostavljena dnevna potrošnja PTV-a iznosi 480 l. U svakom spremniku nalazi se jedan izmjenjivač topline. Prvi spremnik zagrijava se solarnim kolektorima. Solarni kolektori dimenzionirani su na način da mogu zagrijati prvi spremnik od 500 l u srpnju. U ostalim mjesecima za dogrijavanje tople vode koristi se dizalica topline koja u sebi ima ugrađen električni grijač snage 8 kW. Dizalica topline zagrijava vodu do 55 °C, a električni grijač podiže temperaturu vode na 60 °C. Kolektorima zagrijana voda struji u drugi spremnik, u kojemu se po potrebi dogrijava uz pomoć dizalice topline i električnog grijača. Kada se iz drugog spremnika uzima topla voda, u donji dio prvog spremnika automatski utječe hladna pitka voda i tako dolazi do temperaturnog raslojavanja. Kolektorsko polje sastoji se od 5 serijski povezanih vakuumskih kolektora "auroTHERM exclusiv VTK 1140/2" proizvođača Vaillant. Postavljeni su na ravni krov pod nagibom 30° i orijentirani prema jugu. Ukupna godišnja pokrivenost potrebne energije za PTV kolektorima iznosi 68%. Brzina strujanja smjese u solarnom krugu je 0,55 m/s kroz cjevovod FCu 16x1. Vaillantova originalna solarna smjesa sastoji se od 65% vode i 35% ekološki prihvatljivog propilen-glikola. Cirkulacija u sustavu je prisilna, uslijed rada cirkulacijske pumpe "ST 25/6" proizvođača Wilo. Cirkulacijska pumpa nalazi se u dvocijevnoj solarnoj stanici "S2 Solar 3" proizvođača Regulus. U solarnoj stanici nalaze se i sigurnosni solarni ventil 6 bara, manometar, 2 termometra za polazni i povratni vod, ventil za punjenje i pražnjenje sustava, zaporni ventil, solarni nepovratni ventil, separator zraka, mjerač protoka sa kontrolom protoka i izlaz za priključak ekspanzijske posude. Odabrana ekspanzijska posuda je Proizvođača Elbi, volumena 35 l. Cjevovod od drugog spremnika tople vode do potrošača cijelo je vrijeme ispunjen vodom. Ukoliko neko vrijeme ne postoji potrošnja vode, temperatura vode u cijevi pada. Iz tog razloga ugrađen je recirkulacijski vod s pumpom "UP 15-14 B PM" proizvođača Grundfos. Ona vraća hlađenu vodu u spremnik na ponovno zagrijavanje, a topla voda iz spremnika ponovno kreće prema potrošačima.



### 10.3. Ventilacija

U svrhu ventiliranja zgrade koristi se ventilacijski uređaj s rekuperatorom zraka VAM 800 FC smješten u strojarnici na krovu zgrade. Ukupni protok ventilacijskog sustava iznosi 750 m<sup>3</sup>/h, odnosno 250 m<sup>3</sup>/h za svaki stan. Dobava zraka predviđena je dječjim sobama, spavaćoj i dnevnoj sobi svakoga stana, a odsis zraka predviđen je u dnevnoj sobi, WC-u i kupaonici svakog stana. U ventilacijskom uređaju nalazi se rekuperator topline, u kojemu se svježi vanjski zrak zagrijava pomoću topline povratnog zraka. Postotak rekuperacije uređaja iznosi 78%, tako da temperatura zraka nakon rekuperatora, pri vanjskoj projektnoj temperaturi -13 °C, iznosi 12,74 °C. Da bi se spriječilo ubacivanje zraka od 12 °C u prostorije grijane na 20 °C, u ventilacijski uređaj se ugrađuje električni dogrijač zraka VH 4B. Nakon rekuperatora, zagrijani se zrak vodi spiro kanalima kroz vertikale predviđene u hodnicima stanova, te se na svakom katu odvaja po jedna grana za svaki stan. Na ulazu u svaki stan postavljeni su regulatori za održavanje konstantnog volumnog protoka RKP-C koji su podešeni da propuštaju određenu količinu zraka za svaki stan. Kanali se vode kanalicama do dobavnih ventilacijskih rešetki OAV 2. Odsis zraka odvije se preko zračnih ventila ZOV 100 u kupaonicama, a u dnevnom boravku preko odsisnih ventilacijskih rešetki OAV 2. Odsisni zrak vraća se u ventilacijsku jedinicu gdje u rekuperatoru predaje toplinu svježem vanjskom zraku. Nakon toga, istrošeni zrak izbacuje se u okoliš preko protukišnih rešetki AFŽV. Ventilacijski uređaj posjeduje zaobilazni vod za slučaj kada je temperaturna razlika vanjskog i unutarnjeg zraka manja od 4 °C, povratni i vanjski zrak ne prolaze kroz rekuperator radi uštede energije za pogon ventilatora.

## 11. ZAKLJUČAK

Projektno rješenje sustava grijanja, hlađenja, ventilacije i pripreme potrošne tople vode provedena je u skladu sa svim važećim normama i pravilnicima, te u skladu s pravilima struke. Pri dimenzioniranju sustava pazilo se da dijelovi korištene opreme ne budu predimenzionirani ili poddimenzionirani kako bi se omogućio pravilan način rada i kako bi se sustav optimizirao. Također, pri odabiru sustava bila je važna i ekološka osviještenost. Sustavi grijanja i pripreme tople vode s dizalicom topline i solarnim kolektorima predstavljaju obnovljive izvore energije, te tehnologije koje pridonose smanjenju zagađenja okoliša, te emisije stakleničkih plinova. Također, velika prednost dizalica topline je mogućnost korištenja niskotemperaturnih režima grijanja koji omogućuje veću toplinsku ugodnost, zdraviji prostor za stanovanje, ali i veću energetske efikasnost cjelokupnog sustava. Iz toga razloga najčešće se koristi površinsko grijanje čija je velika prednost to što se ne vidi i ne zauzima dodatni prostor u prostorijama. Budući da se svijet sve više okreće obnovljivim izvorima energije, za očekivati je porast uporabe dizalica topline i solarnih kolektora. Pravilno dimenzioniran sustav s obnovljivim izvorima energije ostvaruju značajne energetske, ekološke i ekonomske uštede u odnosu na konvencionalne sustave. Međutim, visoki investicijski troškovi glavni su razlog sprječavanja većeg rasta ovakvih sustava. Pretpostavlja se da će se visoki investicijski troškovi smanjiti uskoro zbog sve više proizvođača na tržištu. Također, mnoge vlade su prepoznale važnost obnovljivih izvora energije te pružaju razne programe subvencioniranja.

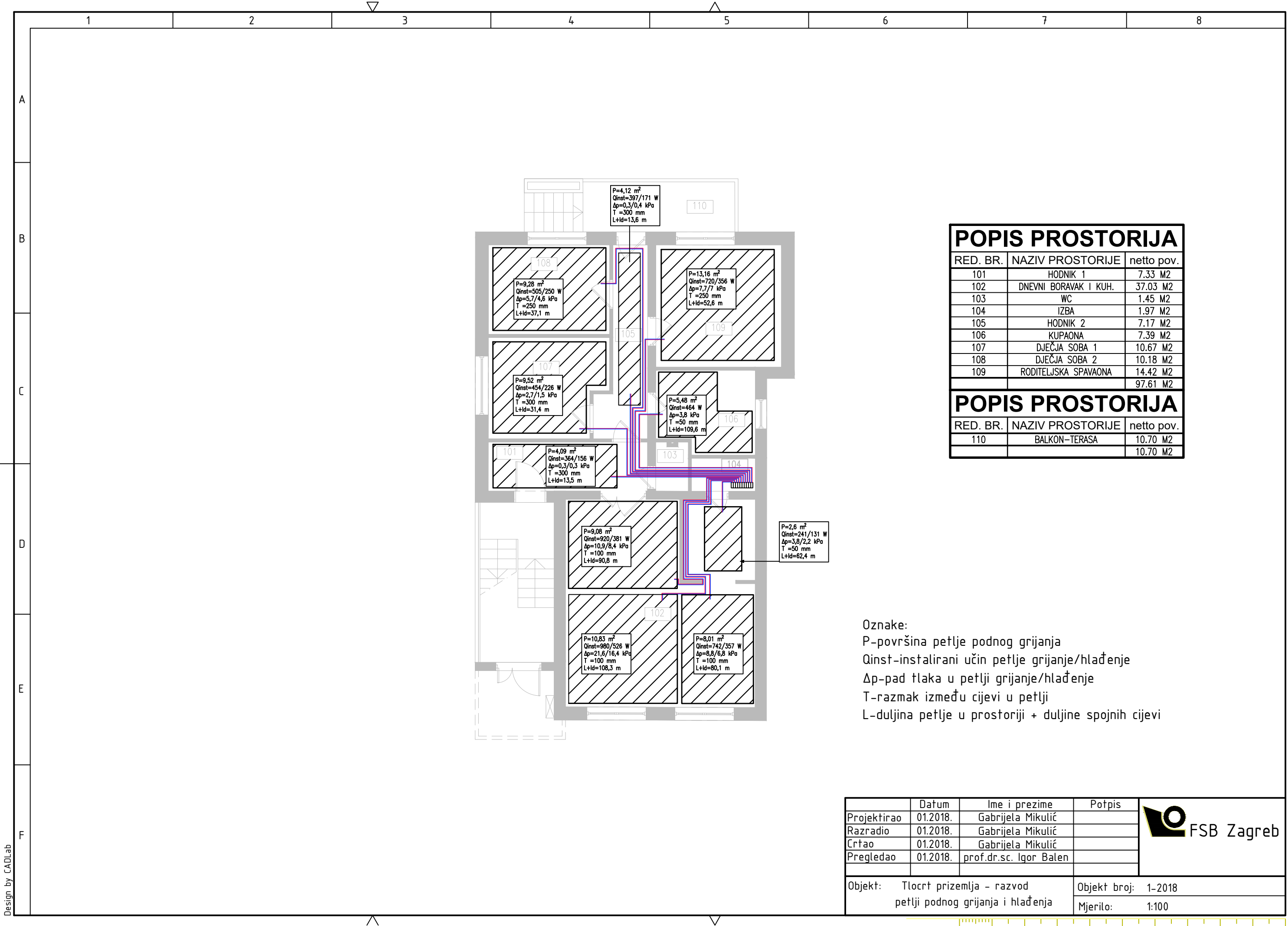
## LITERATURA

- [1] Balen, I.: Podloge za predavanje iz kolegija "Grijanje" i "Klimatizacija", Zagreb
- [2] B. Labudović: Osnove primjene dizalica topline, Energetika marketing, 2009
- [3] <http://hgp.hr/dizalice-topline.htm>
- [4] <http://www.grijanje-klima.com/galerija-radova/podno-grijanje-montaza/>
- [5] Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja: Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama NN128/15, 2015
- [6] Majdandžić Lj., Solarni sustavi, Graphis d.o.o., Zagreb, 2010
- [7] Dović D., Obnovljivi izvori energije. Uporaba sunčeve enrgije u termotehničkim sustavima, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb 2012
- [8] <http://www.mcsolar.hr/suncevi-kolektori.php>
- [9] <http://www.solarnikolektori.ba/page.aspx?pID=6507>
- [10] Vaillant, Projektantske podloge – solarni sustavi
- [11] Balen, I.: Podloge za predavanje iz kolegija "Klimatizacija", Zagreb
- [12] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Datoteka:Odsisno\\_tlacna\\_ventilacija.JPG](https://hr.wikipedia.org/wiki/Datoteka:Odsisno_tlacna_ventilacija.JPG)
- [13] Daikin, Katalog proizvoda za 2017-2018 VRV
- [14] <http://www.klimaoprema.hr/hr/hvac/proizvodi/distribucija-zraka/ventilacijske-resetke/>
- [15] Vaillant, upute za instaliranje i održavanje – dizalice topline
- [16] <https://www.vaillant.hr/images-2/slike-2016/flexocompact-otvoreni-669220-format-flex-height.jpg>
- [17] <https://www.vaillant.hr/krajnji-korisnici/proizvodi/allstor-exclusive-vps-300-3-7-2000-3-7-196.html>
- [18] [https://product-selection.grundfos.com/product-detail.product-detail.html?from\\_suid=151616672953208463310605696897&pumpsystemid=319988283&qcid=321960431](https://product-selection.grundfos.com/product-detail.product-detail.html?from_suid=151616672953208463310605696897&pumpsystemid=319988283&qcid=321960431)
- [19] <https://termometal.hr/ekspanzione-posude-grupa-77/>
- [20] D. Dović, I. Horvat, A. Rodić, V. Soldo, S. Švaić, Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama. Sustavi grijanja prostora i pripreme potrošne tople vode, Zagreb 2015
- [21] <http://www.horvatic.hr/proizvodi/solarni-kolektori-1/>
- [22] <http://tehno-dom.hr/proizvod/s2-dvocijevna-solarna-pumpna-stanica/>

- 
- [23] <http://www.klimaoprema.hr/en/hvac/about-us/news/aura-select-software-for-product-selection-3d-design/>
- [24] <http://www.klimaoprema.hr/hr/hvac/proizvodi/distribucija-zraka/ventilacijske-resetke/>

## **PRILOZI**

- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija



## POPIS PROSTORIJA

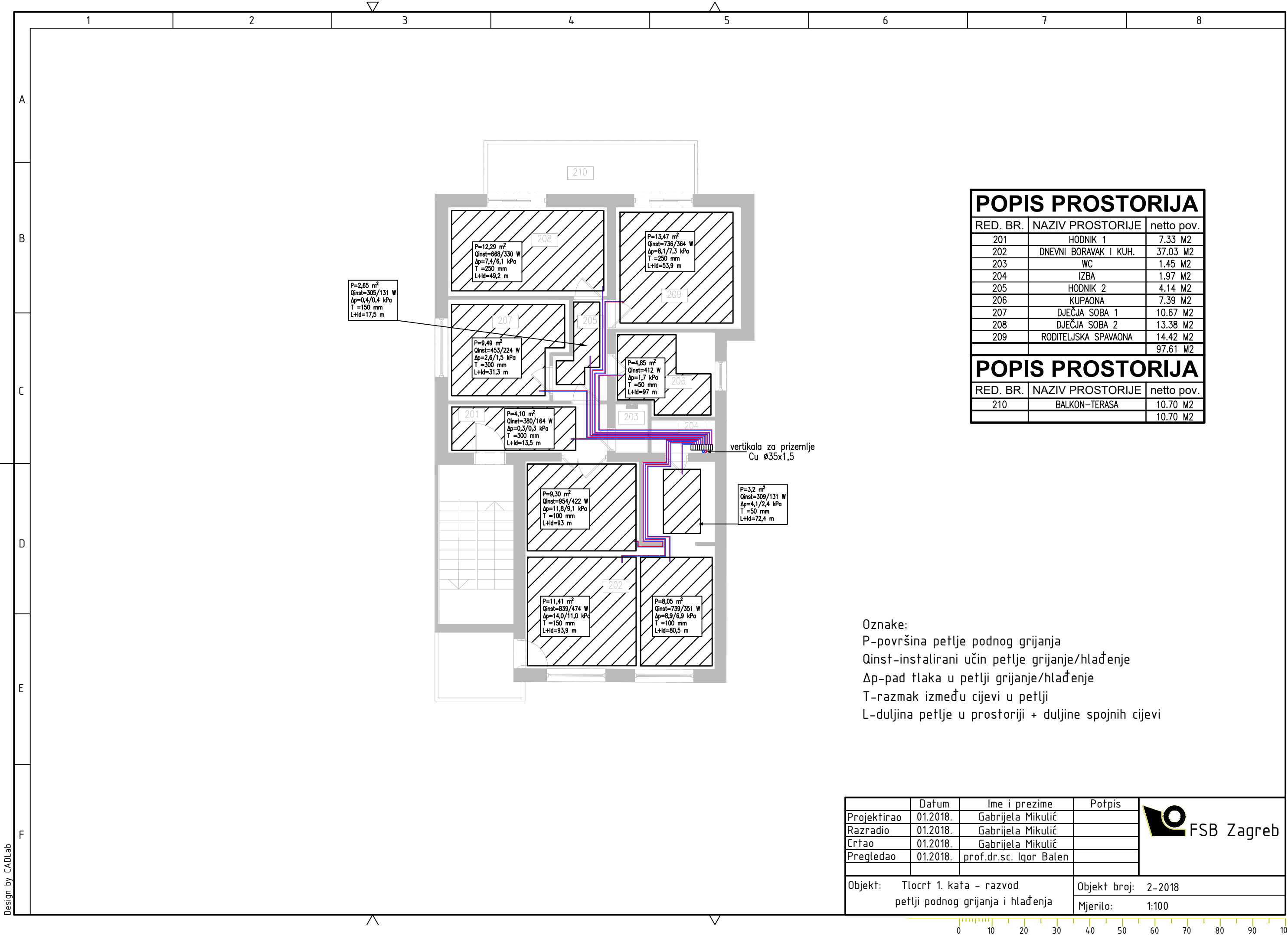
RED. BR.	NAZIV PROSTORIJE	netto pov.
101	HODNIK 1	7.33 M2
102	DNEVNI BORAVAK I KUH.	37.03 M2
103	WC	1.45 M2
104	IZBA	1.97 M2
105	HODNIK 2	7.17 M2
106	KUPAONA	7.39 M2
107	DJEČJA SOBA 1	10.67 M2
108	DJEČJA SOBA 2	10.18 M2
109	RODITELJSKA SPAVAONA	14.42 M2
		97.61 M2

## POPIS PROSTORIJA

RED. BR.	NAZIV PROSTORIJE	netto pov.
110	BALKON-TERASA	10.70 M2
		10.70 M2

Oznake:  
P-površina petlje podnog grijanja  
Qinst-instalirani učin petlje grijanje/hlađenje  
 $\Delta p$ -pad tlaka u petlji grijanje/hlađenje  
T-razmak između cijevi u petlji  
L-duljina petlje u prostoriji + duljine spojnih cijevi

	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	01.2018.	Gabrijela Mikulić		
Razradio	01.2018.	Gabrijela Mikulić		
Crtao	01.2018.	Gabrijela Mikulić		
Pregledao	01.2018.	prof.dr.sc. Igor Balen		
Objekt: Tlocrt prizemlja - razvod petlji podnog grijanja i hlađenja			Objekt broj: 1-2018	
			Mjerilo: 1:100	



POPIS PROSTORIJA

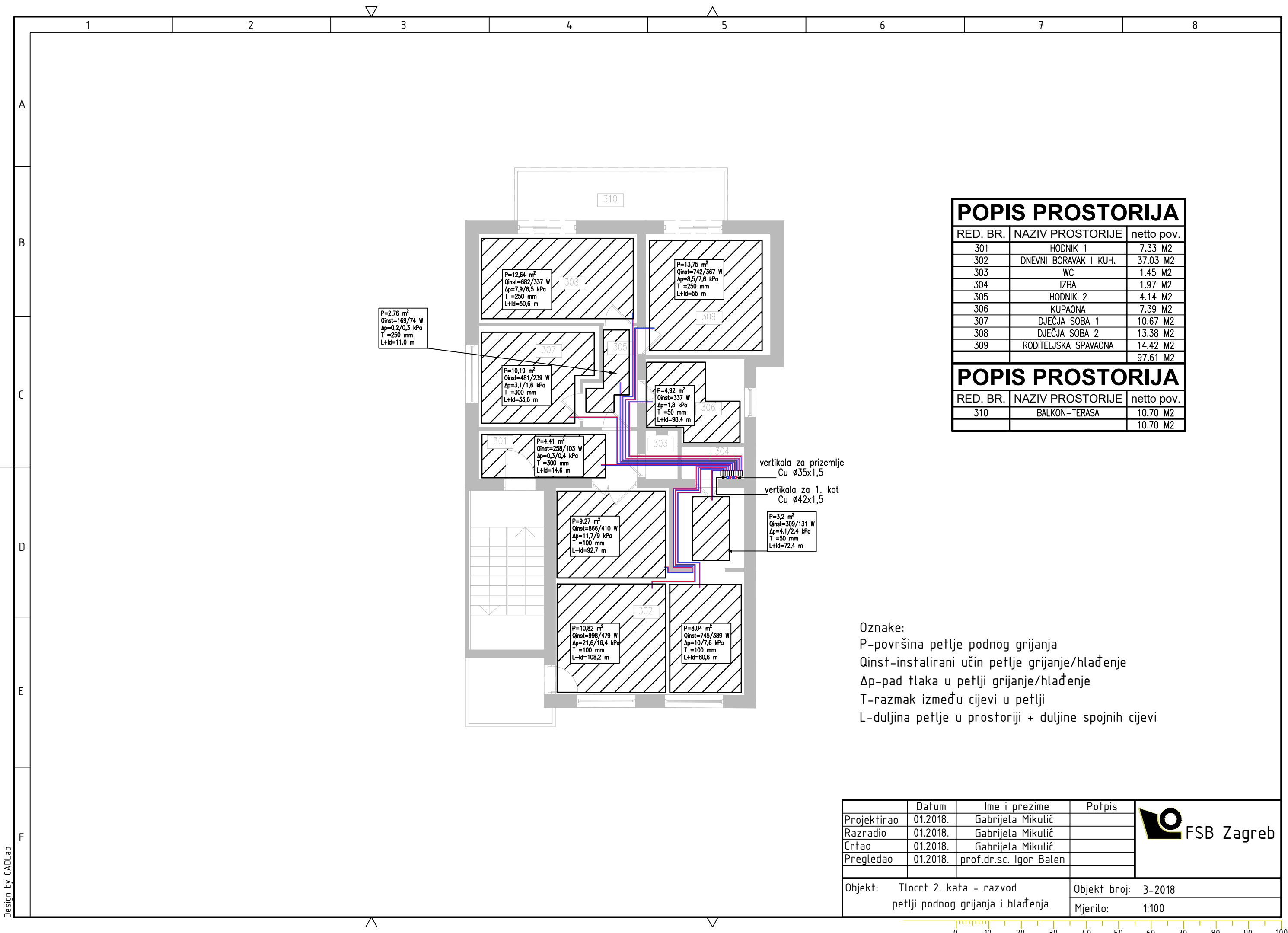
RED. BR.	NAZIV PROSTORIJE	netto pov.
201	HODNIK 1	7.33 M2
202	DNEVNI BORAVAK I KUH.	37.03 M2
203	WC	1.45 M2
204	IZBA	1.97 M2
205	HODNIK 2	4.14 M2
206	KUPAONA	7.39 M2
207	DJEČJA SOBA 1	10.67 M2
208	DJEČJA SOBA 2	13.38 M2
209	RODITELJSKA SPAVAONA	14.42 M2
		97.61 M2

POPIS PROSTORIJA

RED. BR.	NAZIV PROSTORIJE	netto pov.
210	BALKON-TERASA	10.70 M2
		10.70 M2

- Oznake:  
P-površina petlje podnog grijanja  
Qinst-instalirani učin petlje grijanje/hlađenje  
Δp-pad tlaka u petlji grijanje/hlađenje  
T-razmak između cijevi u petlji  
L-duljina petlje u prostoriji + duljine spojnih cijevi

	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	01.2018.	Gabrijela Mikulić		
Razradio	01.2018.	Gabrijela Mikulić		
Crtao	01.2018.	Gabrijela Mikulić		
Pregledao	01.2018.	prof.dr.sc. Igor Balen		
Objekt: Tlocrt 1. kata - razvod petlji podnog grijanja i hlađenja			Objekt broj: 2-2018	
			Mjerilo: 1:100	



## POPIS PROSTORIJA

RED. BR.	NAZIV PROSTORIJE	netto pov.
301	HODNIK 1	7.33 M2
302	DNEVNI BORAVAK I KUH.	37.03 M2
303	WC	1.45 M2
304	IZBA	1.97 M2
305	HODNIK 2	4.14 M2
306	KUPAONA	7.39 M2
307	DJEČJA SOBA 1	10.67 M2
308	DJEČJA SOBA 2	13.38 M2
309	RODITELJSKA SPAVAONA	14.42 M2
		97.61 M2

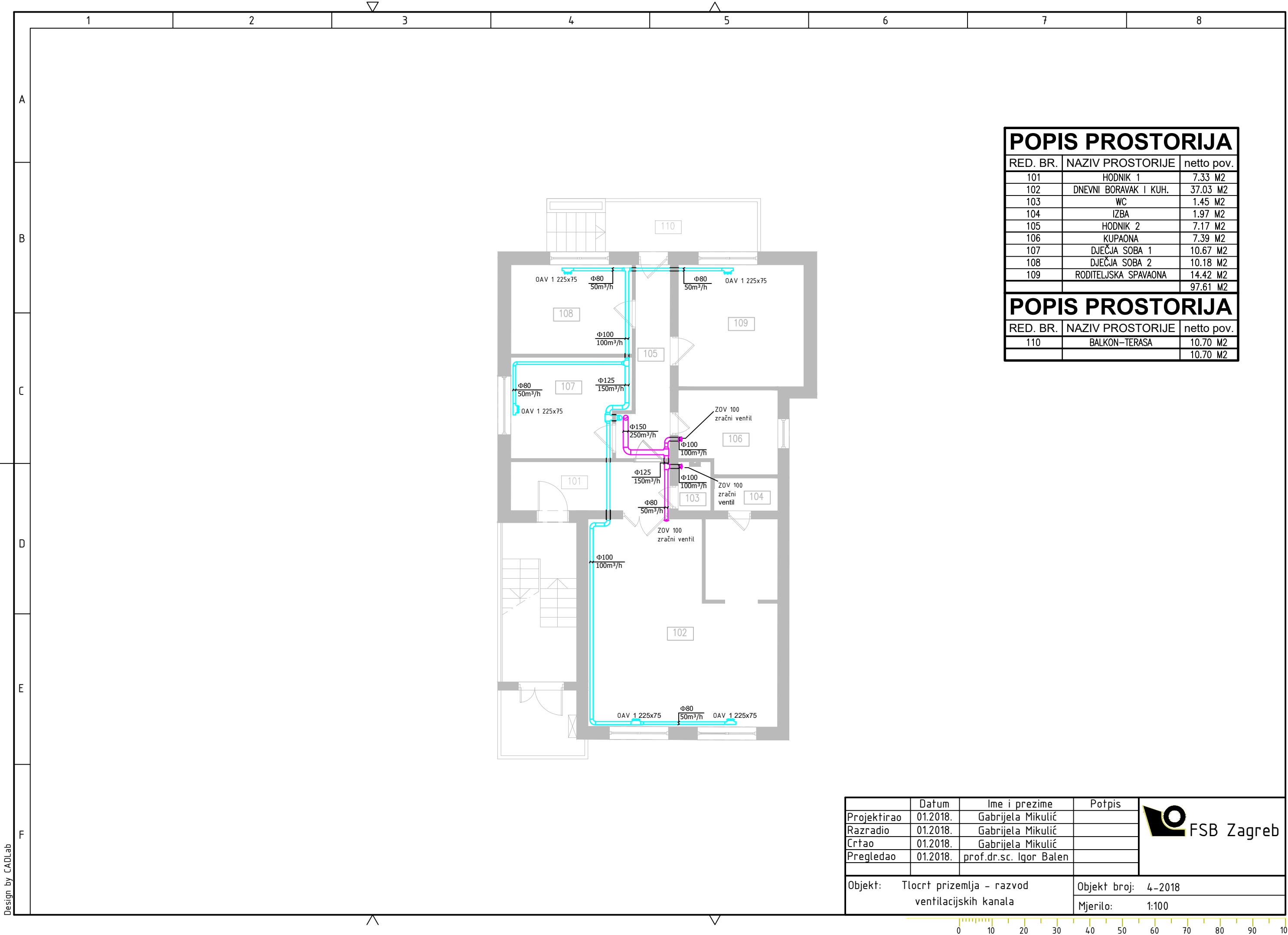
## POPIS PROSTORIJA

RED. BR.	NAZIV PROSTORIJE	netto pov.
310	BALKON-TERASA	10.70 M2
		10.70 M2

Oznake:  
P-površina petlje podnog grijanja  
Qinst-instalirani učin petlje grijanje/hlađenje  
Δp-pad tlaka u petlji grijanje/hlađenje  
T-razmak između cijevi u petlji  
L-duljina petlje u prostoriji + duljine spojnih cijevi

	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	01.2018.	Gabrijela Mikulić		
Razradio	01.2018.	Gabrijela Mikulić		
Crtao	01.2018.	Gabrijela Mikulić		
Pregledao	01.2018.	prof.dr.sc. Igor Balen		
Objekt: Tlocrt 2. kata - razvod petlji podnog grijanja i hlađenja			Objekt broj: 3-2018	
			Mjerilo: 1:100	






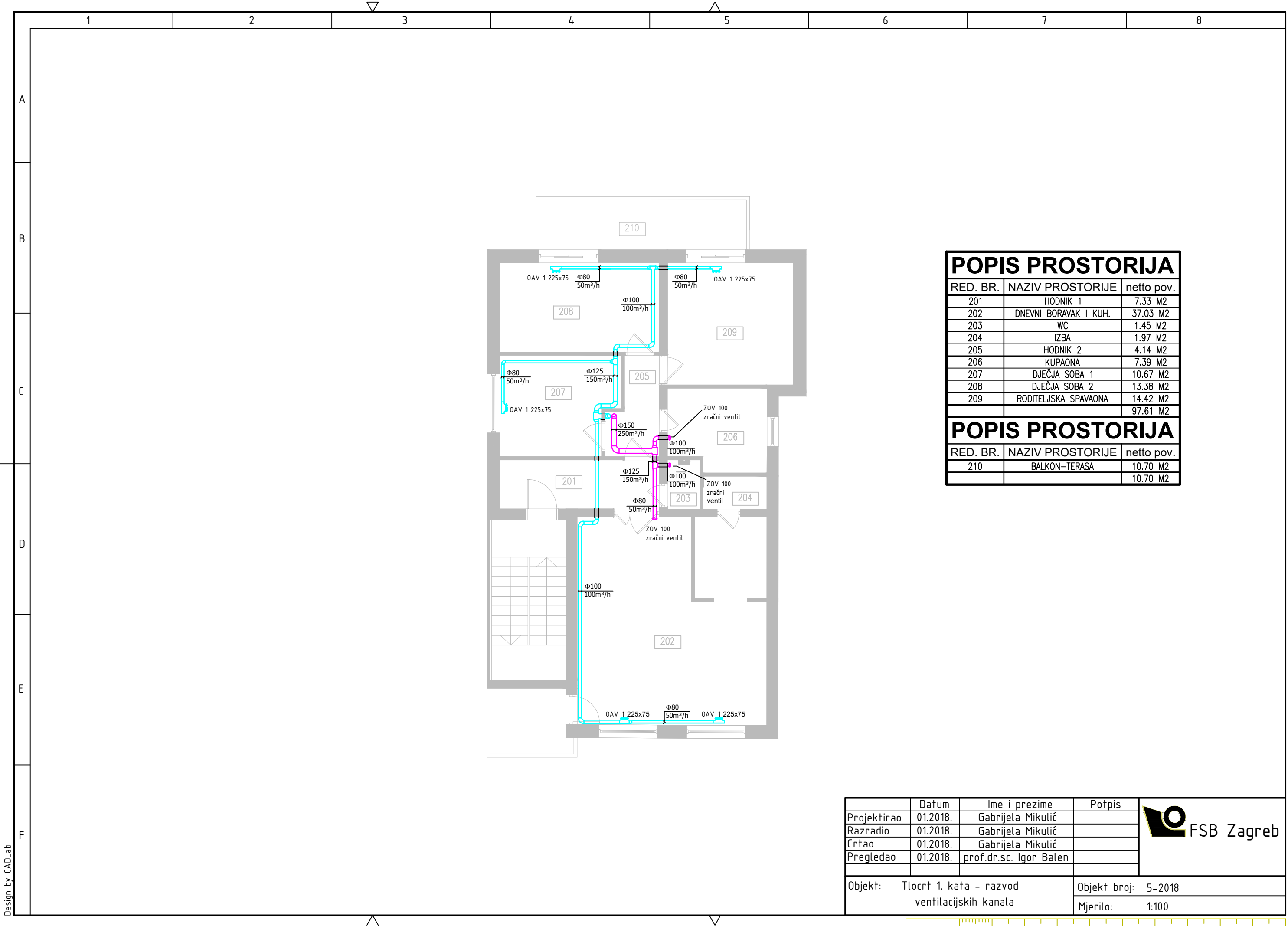
POPIS PROSTORIJA

RED. BR.	NAZIV PROSTORIJE	netto pov.
101	HODNIK 1	7.33 M2
102	DNEVNI BORAVAK I KUH.	37.03 M2
103	WC	1.45 M2
104	IZBA	1.97 M2
105	HODNIK 2	7.17 M2
106	KUPAONA	7.39 M2
107	DJEČJA SOBA 1	10.67 M2
108	DJEČJA SOBA 2	10.18 M2
109	RODITELJSKA SPAVAONA	14.42 M2
		97.61 M2

POPIS PROSTORIJA

RED. BR.	NAZIV PROSTORIJE	netto pov.
110	BALKON-TERASA	10.70 M2
		10.70 M2

	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	01.2018.	Gabrijela Mikulić		
Razradio	01.2018.	Gabrijela Mikulić		
Crtao	01.2018.	Gabrijela Mikulić		
Pregledao	01.2018.	prof.dr.sc. Igor Balen		
Objekt: Tlocrt prizemlja - razvod ventilacijskih kanala			Objekt broj: 4-2018	
			Mjerilo: 1:100	



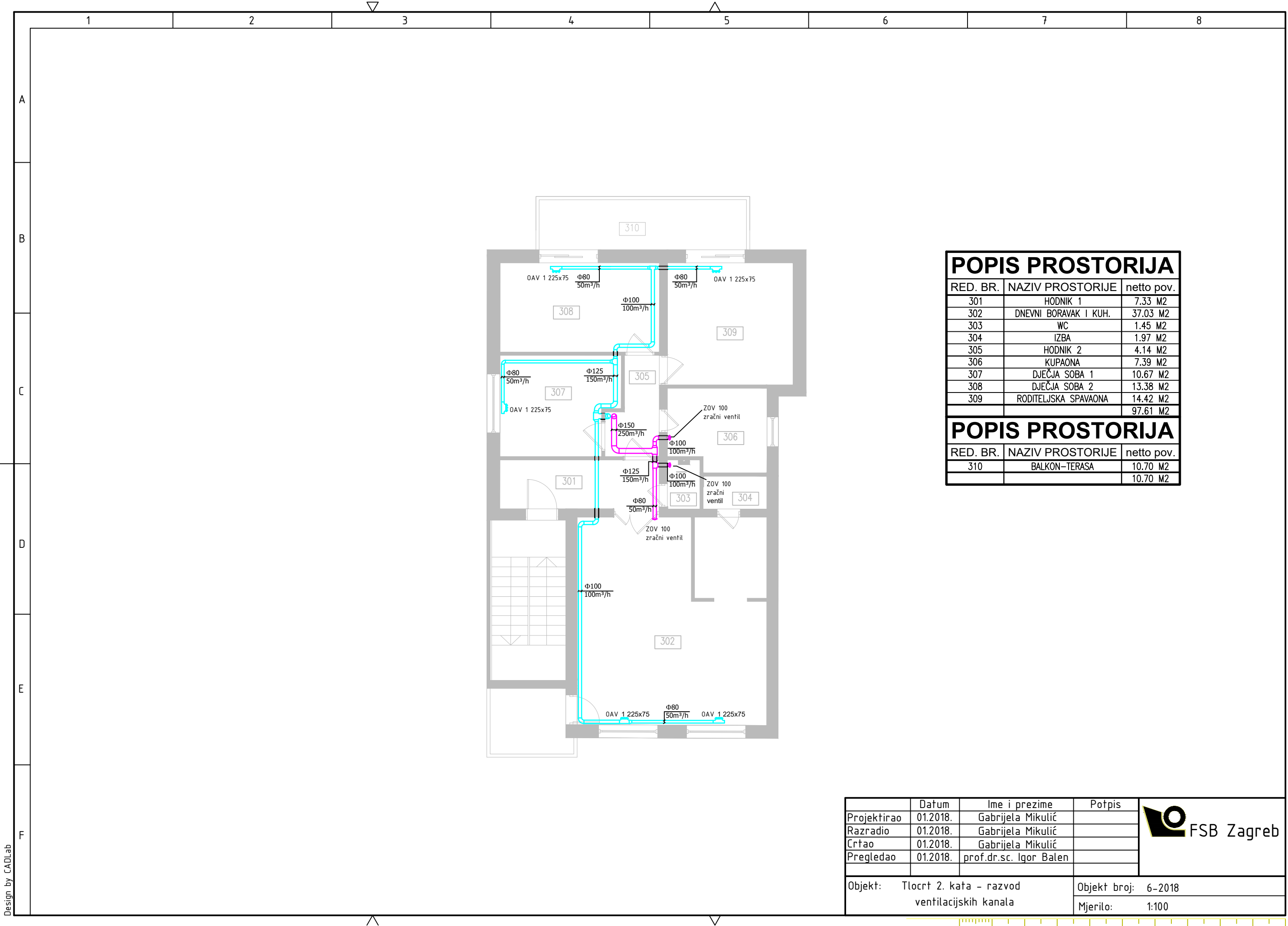
POPIS PROSTORIJA

RED. BR.	NAZIV PROSTORIJE	netto pov.
201	HODNIK 1	7.33 M2
202	DNEVNI BORAVAK I KUH.	37.03 M2
203	WC	1.45 M2
204	IZBA	1.97 M2
205	HODNIK 2	4.14 M2
206	KUPAONA	7.39 M2
207	DJEČJA SOBA 1	10.67 M2
208	DJEČJA SOBA 2	13.38 M2
209	RODITELJSKA SPAVAONA	14.42 M2
		97.61 M2

POPIS PROSTORIJA

RED. BR.	NAZIV PROSTORIJE	netto pov.
210	BALKON-TERASA	10.70 M2
		10.70 M2

	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	01.2018.	Gabrijela Mikulić		
Razradio	01.2018.	Gabrijela Mikulić		
Crtao	01.2018.	Gabrijela Mikulić		
Pregledao	01.2018.	prof.dr.sc. Igor Balen		
Objekt: Tlocrt 1. kata - razvod ventilacijskih kanala			Objekt broj: 5-2018	
			Mjerilo: 1:100	




POPIS PROSTORIJA

RED. BR.	NAZIV PROSTORIJE	netto pov.
301	HODNIK 1	7.33 M2
302	DNEVNI BORAVAK I KUH.	37.03 M2
303	WC	1.45 M2
304	IZBA	1.97 M2
305	HODNIK 2	4.14 M2
306	KUPAONA	7.39 M2
307	DJEČJA SOBA 1	10.67 M2
308	DJEČJA SOBA 2	13.38 M2
309	RODITELJSKA SPAVAONA	14.42 M2
		97.61 M2

POPIS PROSTORIJA

RED. BR.	NAZIV PROSTORIJE	netto pov.
310	BALKON-TERASA	10.70 M2
		10.70 M2

	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	01.2018.	Gabrijela Mikulić		
Razradio	01.2018.	Gabrijela Mikulić		
Crtao	01.2018.	Gabrijela Mikulić		
Pregledao	01.2018.	prof.dr.sc. Igor Balen		
Objekt: Tlocrt 2. kata - razvod ventilacijskih kanala			Objekt broj: 6-2018	
			Mjerilo: 1:100	

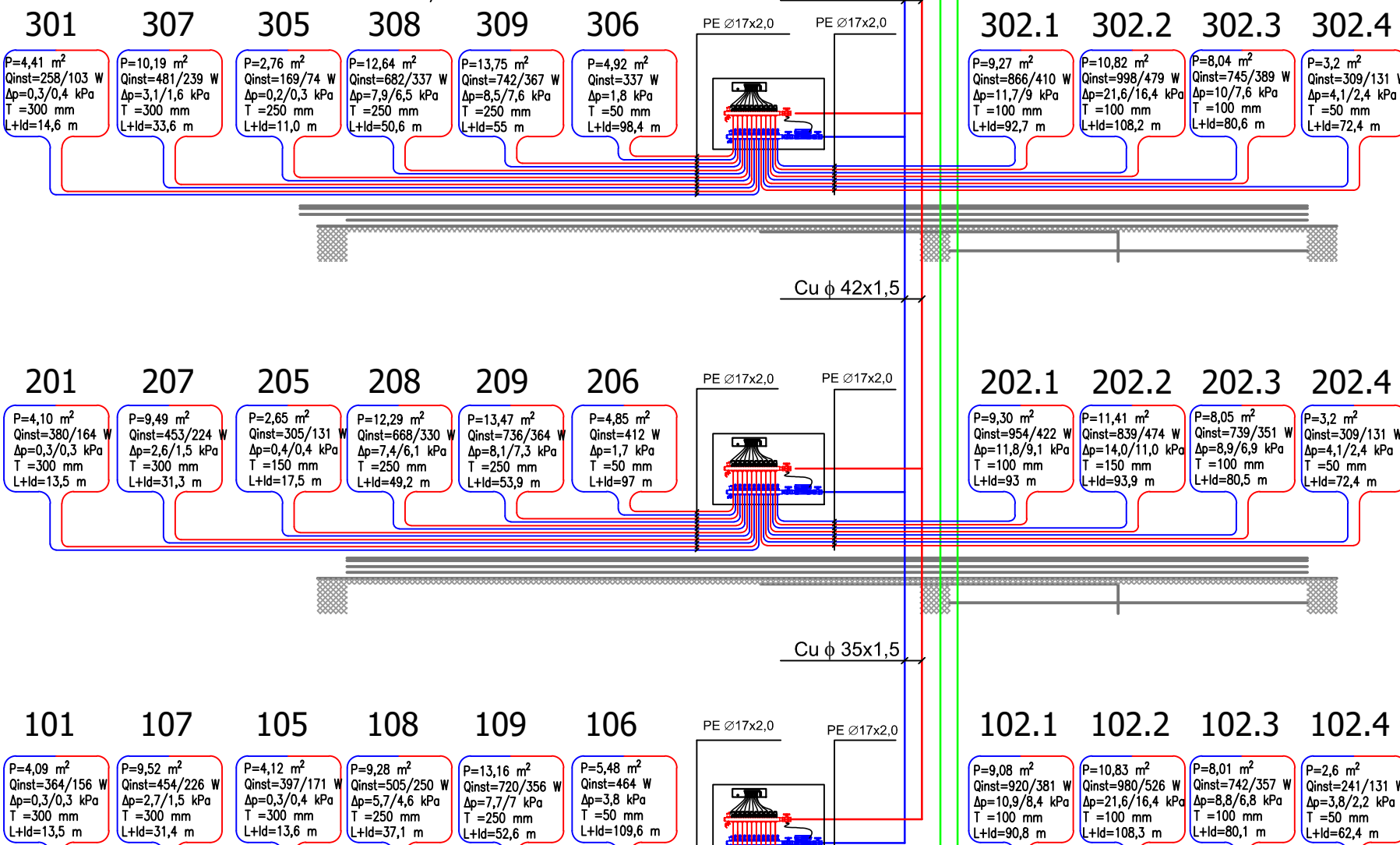


Solarni kolektori "auroTHERM exclusiv VTK 1140/2"  
6 kolektora, ukupne površine 12 m<sup>2</sup>

Spremnik PTV-a "Duostar R1" V=500 l

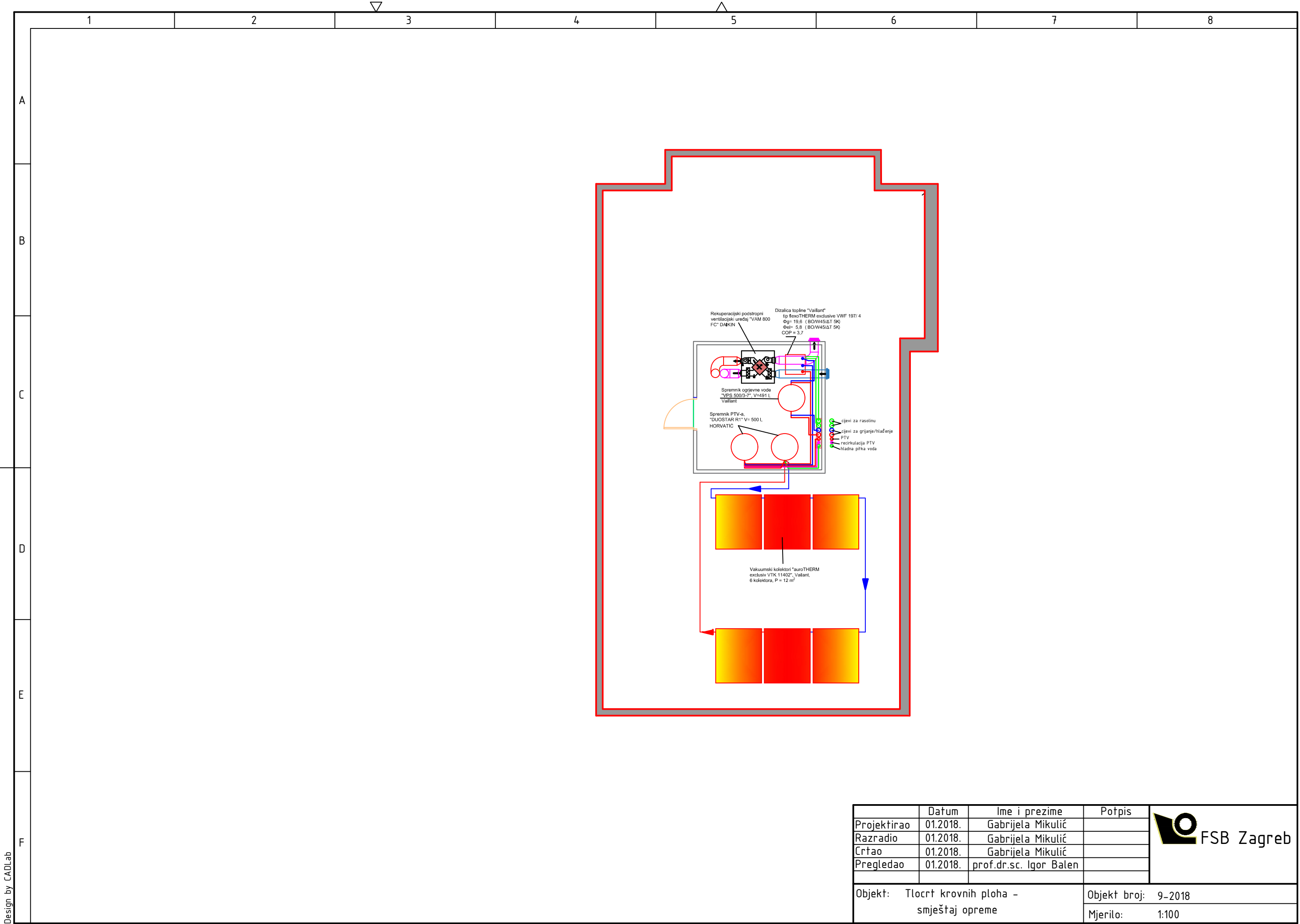
Dizalica topline "Vaillant"  
tip flexoTHERM exclusive VWF 197/ 4  
 $\Phi_g = 19,6$  (B0/W45/ $\Delta T$  5K)  
 $\Phi_{el} = 5,8$  (B0/W45/ $\Delta T$  5K)  
COP=3,7


Spremnik tople vode za  
grijanje "Vaillant" tip VPS  
500/3-7, V=491 l



Cijevni podzemni kolektor 4x70 m (PE 32x2,9)

	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	01.2018.	Gabrijela Mikulić		
Razradio	01.2018.	Gabrijela Mikulić		
Crtao	01.2018.	Gabrijela Mikulić		
Pregledao	01.2018.	prof.dr.sc. Igor Balen		
Objekt:			Format: A2	
DIPLOMSKI RAD, Termotehnika			Broj crteža: 8-2018	
			Mjerilo:	



	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	01.2018.	Gabrijela Mikulić		
Razradio	01.2018.	Gabrijela Mikulić		
Crtao	01.2018.	Gabrijela Mikulić		
Pregledao	01.2018.	prof.dr.sc. Igor Balen		
Objekt: Tlocrt krovnih ploha - smještaj opreme			Objekt broj: 9-2018	
			Mjerilo: 1:100	

